

Jukka Tonteri

# PIENNOPEUSLAITTEIDEN KEHITYSTUTKIMUS

Opinnäytetyö  
Talotekniikan koulutusohjelma


Toukokuu 2013




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  3.5.2013	
<b>Tekijä(t)</b>  Jukka Tonteri		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Talotekniikka, LVI	
<b>Nimeke</b>  Piennopeuslaitteiden kehitystutkimus			
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön aiheena ovat piennopeuslaitteet, joita käytetään syrjäyttävässä ilmanjaossa tuloilmalaitteina. Piennopeuslaitteilla hieman alilämpöinen tuloilma puhalletaan pienellä nopeudella suoraan oleskeluvyöhykkeelle.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää nykyisten markkinoilla olevien piennopeuslaitteiden toiminnan tasoa sekä tutkia yleisesti piennopeuslaitteissa käytettyjen rakenteiden vaikutusta ilmanjakoteknisiin ominaisuuksiin. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Halton Oy.</p> <p>Työssä tutkittavina laitteina käytettiin kolmea eri laitevalmistajan markkinoilla olevaa laitetta sekä kahta prototyyppiä. Tutkinnassa menetelminä käytettiin ilman nopeusmittauksia ja äänimittauksia. Lisäksi laitteiden ja prototyyppien toimintaa selvitettiin savutesteillä. Mittaukset suoritettiin Halton Oy:n tutkimuskeskuksessa, Kausalassa kevään 2013 aikana.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin osana toimeksiantavan yrityksen toteuttamaa tuotekehitysprojektia, jossa tarkoituksena oli uudistaa nykyisten piennopeuslaitteiden teknisiä ominaisuuksia sekä tuotteiden ulkonäköä. Tässä työssä esitetyt tutkimustulokset luovat pohjan varsinaisen tuotekehitysprojektin alkamiselle.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> ilmanvaihto, ilmanvaihtolaitteet, kehittämistutkimus			
<b>Sivumäärä</b>  35+9	<b>Kieli</b>  Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Heikki Salomaa		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Halton Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  3.5.2013	
<b>Author(s)</b>  Jukka Tonteri		<b>Degree programme and option</b>  Building services engineering, HVAC	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Development research of low-velocity diffusers			
<b>Abstract</b>  <p>This bachelor's thesis was focused on low-velocity diffusers, which are used in displacement ventilation systems as distribution devices of supply air. Ventilation air was supplied straight to the occupied zone of the room. In displacement ventilation, supply air is usually at a lower temperature than the average temperature of the room. Therefore the supply air must be distributed with low speed to prevent problems of draught.</p> <p>The purpose of this thesis was to find out basic methods of air distribution used in low-velocity diffusers and research influence of common structures used in low-velocity diffusers. Moreover the levels of performance of current diffusers on markets were also examined.</p> <p>Research methods consisted of sound and air velocity measurements. In addition smoke tests were also used as a way to define pattern of air flow. Three low-velocity diffusers of current markets and two prototypes were used as research objects. All measurements were done in research centre of Halton Ltd in Kausala, during spring 2013.</p> <p>This thesis was made as a part of product development project of low-velocity diffusers, which was meant to improve technical features and exterior of current products. Results of this thesis were used as a preliminary knowledge for the product development project of low-velocity diffusers.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  air conditioning, ventilation, development research			
<b>Pages</b>  35+9	<b>Language</b>  Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b>  Heikki Salomaa		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Halton Oy	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	HALTON OY.....	2
3	SYRJÄYTYSILMANVAIHTO.....	3
3.1	Piennopeuslaitteet .....	3
3.1.1	Mallit.....	3
3.1.2	Rakenne.....	4
3.2	Syrjäytysilmanvaihdon toiminta.....	5
3.3	Käyttökohteet.....	5
3.3.1	Pluomit.....	6
3.3.2	Epäpuhtaudet.....	7
3.3.3	Lämpötilat .....	8
4	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	9
4.1	Ilmamäärän mittaus .....	10
4.2	Ilman nopeuden mittaus.....	10
4.2.1	Nopeusmittauslaitteisto.....	11
4.2.2	Nopeusmittaushuone.....	12
4.3	Äänimittaukset.....	13
4.3.1	Äänimittauslaitteisto .....	13
4.3.2	Jälkikaiuntahuone .....	14
4.4	Savutestit.....	15
5	TULOKSET .....	15
5.1	Prototyyppi 1 .....	16
5.2	Prototyyppi 2 .....	19
5.3	Laite 1 .....	22
5.4	Laite 2 .....	27
5.5	Laite 3 .....	30
6	YHTEENVETO .....	33
7	JATKOTOIMENPITEET .....	34

## LIITTEET

- 1 Prototyyppi 1, nopeusmittauspöytäkirja
- 2 Prototyyppi 1, virtaussimulointikuva
- 3 Prototyyppi 2, nopeusmittauspöytäkirja
- 4 Prototyyppi 2, virtaussimulointikuva
- 5 Laite 1, nopeusmittauspöytäkirja
- 6 Laite 1, äänimittauspöytäkirja
- 7 Laite 2, ääni- ja nopeusmittauspöytäkirja
- 8 Laite 3, ääni- ja nopeusmittauspöytäkirja

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on Halton Oy. Opinnäytetyö tehtiin osana toimeksiantavan yrityksen toteuttamaa tuotekehitysprojektia, jonka tarkoituksena oli uudistaa nykyisten piennopeuslaitteiden ulkonäköä sekä parantaa laitteiden teknisiä ominaisuuksia. Projektiryhmään kuului useita henkilöitä, kuten projektijohtaja, projektipäällikkö, projektitutkija, tuotesuunnittelija, asiantuntija sekä tekninen muotoilija. Projektiin liittyvää ideointia sekä etenemistä käsiteltiin viikoittaisissa palavereissa.

Piennopeuslaitteita käytetään syrjäyttävässä ilmanjaossa tuloilmalaitteina. Piennopeuslaitteilla hieman alilämpöinen tuloilma puhalletaan pienellä nopeudella suoraan oleskeluvyöhykkeelle, jolloin huoneen alaosaan, oleskeluvyöhykkeelle saadaan luotua paremmat olosuhteet kuin huoneen yläosaan.

Syrjäytysilmanvaihtoa on käytetty pitkään teollisuustiloissa, joissa lämpökuormat ovat suuria. 80-luvulta lähtien syrjäytysilmanvaihtoa on käytetty muissakin kuin teollisissa kohteissa. Syrjäytysilmanvaihto on ollut käytössä lähinnä pohjoismaissa, mutta viime vuosien aikana sen käyttö on yleistynyt huomattavasti myös muualla maailmassa.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää piennopeuslaitteiden toimintaperiaatteita sekä nykyisten piennopeuslaitteiden toiminnan tasoa ja mahdollisia kehitystarpeita. Opinnäytetyössä selvitettävät asiat luovat pohjan varsinaiselle tuotekehitysprojektille ja sen käynnistymiselle.

Piennopeuslaitteiden toimintaa tutkittiin prototyyppien sekä markkinoilla olevien, eri valmistajien laitteiden avulla. Laitteiden ja prototyyppien toimintaa tutkittiin Halton Oy:n omassa tutkimuskeskuksessa. Laitteiden tutkinnassa menetelminä käytettiin ilman nopeusmittauksia, jossa saatiin tietoa mitattavan laitteen ulospuhallusnopeuden tasaisuudesta. Äänimittauksilla tutkittiin laitteiden sekä yksittäisten rakenneosien vaikutuksia laitteiden äänitekniisiin ominaisuuksiin. Savutesteillä tarkasteltiin laitteen aiheuttaman ulospuhalluksen tasaisuutta sekä suuntaa.

## 2 HALTON OY

Halton Oy on sisäilmaratkaisuihin erikoistunut perheyritys, jonka toiminta-ajatuksena on parantaa asiakkaidensa liiketoiminnan tuottavuutta. Yritys markkinoi, toimittaa ja kehittää sisäilmastotuotteita ja -järjestelmiä turvallisen, miellyttävän ja terveellisen työympäristön aikaansaamiseksi.

Halton Oy on perustettu vuonna 1969, ja se on saanut alkunsa Kausalassa. Nykyisin yhtiö toimii 25 maassa ympäri maailmaa ja se työllistää yhteensä noin 1200 henkilöä. Yhtiön liikevaihto vuonna 2011 oli noin 146 miljoonaa euroa.

Halton Oy muodostuu kolmesta liiketoiminta-alueesta. SBA Halton tarjoaa sisäilmaratkaisuja julkisten rakennuksien tarpeisiin, Halton Foodservice keskittyy kaupallisten keittiöiden ja ravintoloiden sisäilmaratkaisuihin, ja Halton Marine tarjoaa ratkaisuja laivateollisuuden ja offshore-kohteiden turvallisuuden ja mukavuuden parantamiseen. SBA Halton liiketoiminta-alueeseen kuuluu myös Halton Clean Air, joka valmistaa kehittyneitä ilmanpuhdistusjärjestelmiä, sekä Halton Global Services, joka puolestaan tarjoaa palveluita sisäympäristön hallintaa koskevien ongelmien ratkaisemiseksi.

Kausalan tehdas (kuva 1) koostuu myynti- ja tuotanto-osastoista. Lisäksi tehtaan yhteydessä toimii tutkimuskeskus, jossa tähän opinnäytetyöhön liittyvät mittaukset suoritettiin.



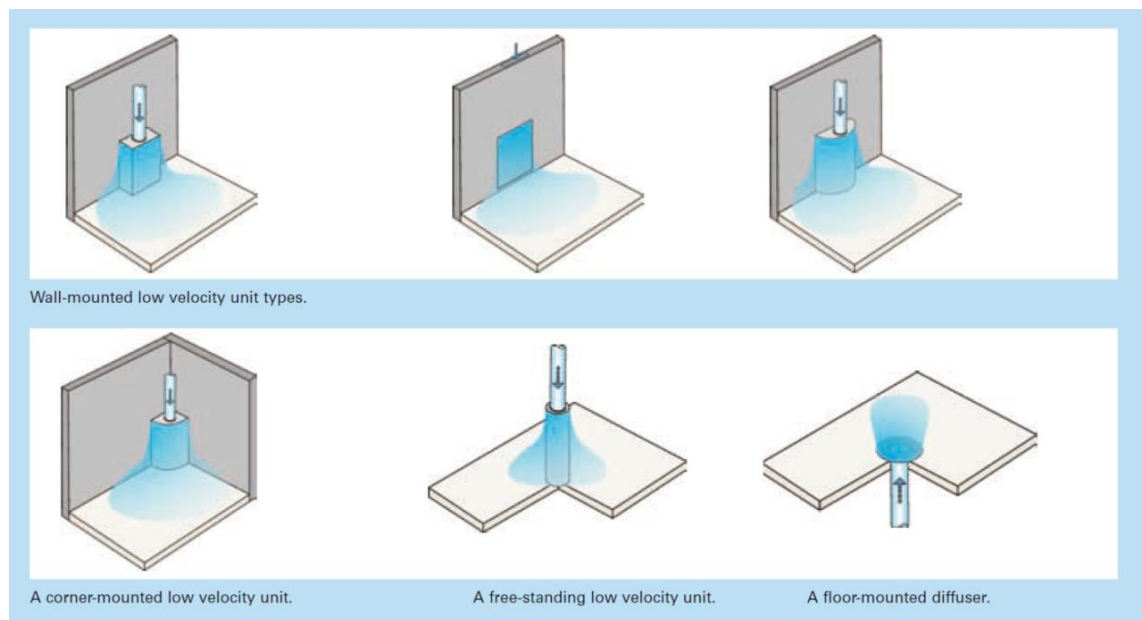
**KUVA 1. Ilmakuva Kausalan tehtaasta (Halton Oy Intranet)**

### 3 SYRJÄYTYSILMANVAIHTO

#### 3.1 Piennopeuslaitteet

##### 3.1.1 Mallit

Piennopeuslaitteet ovat laitteita, joita tavallisesti käytetään syrjäyttävän ilmanvaihdon ilmanjakolaitteina. Markkinoilla olevat laitteiden perusmallit voidaan karkeasti jakaa kuuteen kategoriaan muotonsa perusteella: sylinteri-, puolisyylinteri-, suorakaide-, kulma- sekä seinän tai lattian sisään asennettava malli (kuva 2). Yleisimmin käytetty asennustapa piennopeuslaitteille on kiinteä seinäasennus. /2, s.4./ Yksittäisillä piennopeuslaitteilla jaettavat ilmamäärät voivat olla hyvinkin suuria, jopa tuhansia litroja sekunnissa. Tällöin laitteiden fyysinen koko on oltava riittävän suuri, jotta ilmamäärän jakaminen tilaan voidaan suorittaa suuren ulospuhalluspinnan avulla pienellä nopeudella. Piennopeuslaitteiden ulospuhallusnopeudelle ei ole olemassa varsinaisia raja-arvoja, mutta tavallisesti laitteiden otsapintanopeudet ovat suuruusluokkaa 0,2 - 0,5 m/s.



**KUVA 2. Yleisimmät piennopeuslaitteiden mallit ja asennustavat /3/**

Oikean laitteen valitseminen käyttökohteen mukaan on tärkeää. Esimerkiksi suurin osa käytännön kokeilla todetuista veto-ongelmista johtuu vääränlaisista ilmanjakolaitteista, sillä erilaisilla laitteilla on erilaiset ilmanjakotekniset ominaisuudet. /2, s.27./



### 3.1.2 Rakenne

Piennopeuslaitteiden rakenteet voivat poiketa toisistaan hyvinkin paljon riippuen laitteen valmistajan käyttämistä materiaaleista ja tuotantomenetelmistä. Yleensä laite koostuu pyöreästä tai suorakaiteen muotoisesta liitäntäkauluksesta, jolla laite kytetään ilmanvaihtokanavistoon joko laitteen päältä tai pohjasta. Piennopeuslaitteiden yleisimmät pyöreiden kanavien liitäntäkoot ovat 160 – 800 mm. Laitteen etulevy eli pinta, jonka läpi ilmasuihku ohjataan, on tavallisesti reikäpeltiä. Rei'itys voi olla kooltaan ja malliltaan käytännössä millaista tahansa valmistajasta riippuen. Joissain tapauksissa, varsinkin seinän sisään upotetuissa malleissa, etulevy voi olla myös säleikkö. Piennopeuslaitteiden valmistuksessa pääosin käytetty materiaali on teräspelti, jossa ulospäin näkyvät osat on maalattu. Monet laitevalmistajat käyttävät ilmanjakolaitteiden maalauksessa pulverimaalausta, jossa yleisvärinä on valkoinen. Laitteiden pienet osat, kuten suuttimet, on valmistettu usein muovista. Markkinoilla on myös saatavilla mm. puuverhoiltuja piennopeuslaitteita sekä muita erikoisempia malleja, jotka tehdään usein projektikohtaisesti kohteeseen asiakkaan toiveiden mukaan.

Laitteiden valmistamisessa tavallisesti käytettävät liitostavat ovat ruuvi- ja/tai popniittikiinnitys, pistehitsaus sekä puristussaukaus. Laitteet on usein suunniteltu ja kasattu niin, että laitetta on mahdollista purkaa tarvittaessa huollon ja puhdistettavuuden helpottamiseksi.

Usein käytetty ratkaisu laitteen tasaisen ilmanjaon saavuttamiseksi on käyttää useaa rakennekerrosta etulevyn takana. Kerrokset tasaavat ulospuhallettavaa virtausta koko halutulle alueelle niin, että virtausnopeus olisi sama laitteen etulevyn kaikissa kohdissa. Laitteen rakenteen tulisi toimia niin, että ilmanjaon tasaisuuden lisäksi sen tulisi jakaa ilmavirta tarkoituksen mukaiseen suuntaan riippuen siitä, mihin kyseinen laite on tarkoitettu asennettavaksi.

Joidenkin valmistajien laitteet on varustettu suuttimilla, joiden tarkoituksena on mahdollistaa ulospuhalluskuvion suunnattavuus. Laitteissa itsessään ei halutun tilavuusvirran säätämiseksi yleensä ole säätömahdollisuuksia, vaan tilavuusvirta säädetään erillisellä kytkentäkanavaan asennetulla säätölaitteella. Monet piennopeuslaitteet on kuitenkin varustettu mittayhteellä, josta mitatun paineen avulla voidaan laskemalla todeta laitteesta tulevan tilavuusvirran suuruus valmistajan antamien ohjeiden avulla.

### 3.2 Syrjäytysilmanvaihdon toiminta

Yleisesti käytetyt ilmanjakotavat voidaan karkeasti jakaa kahteen eri tyyppiin, jotka ovat sekoittava- ja syrjäyttävä ilmanjako. Sekoittavassa ilmanjakotavassa koko tilan lämpötila ja epäpuhtauspitoisuudet ovat samat kaikissa tilan osissa, kun taas syrjäyttävää tapaa käytettäessä pyritään huoneen alaosaan oleskeluvyöhykkeelle luomaan paremmat olosuhteet kuin huoneen yläosaan.

Syrjäyttävän ilmanvaihdon toiminta perustuu tiheyseroista johtuvaan ilman kerrostumiseen. Perusperiaatteena on, että huoneessa oleva lämmin ja epäpuhdas ilma nousee tiheyserojen vaikutuksesta kohti kattoa, josta se poistetaan poistoilmalaitteiden kautta. Raikas, alilämpöinen tuloilma johdetaan usein lattian tasolla sijaitsevaan piennopeuslaitteeseen, josta se puhalletaan pienellä nopeudella suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Poisto- ja tuloilmalaitteet on sijoitettava toisiinsa nähden niin, ettei oikosulkuvirtauksen syntyminen ole mahdollista. Oikosulkuvirtauksessa tilaan tuotava raikas tuloilma menee suoraan tai osittain poistoilmalaitteeseen, eikä ilmanvaihto toimi halutulla tavalla.

Syrjäyttävä ilmanvaihto tarvitsee toimiakseen korkeat huonetilat, jotta ilman kerrostuminen on mahdollista. Tällöin epäpuhtaan ja raikkaan ilman rajakerros on oleskeluvyöhykkeen yläpuolella /2, s.1/. Syrjäytysilmanvaihtoa ei yleensä suositella käytettäväksi tiloissa, joissa huonekorkeus on pienempi kuin 3 metriä. Lisäksi huoneilman sekoittuminen tuloilmasuihkuun on estettävä käyttämällä oikeanlaista tuloilmalaitetta ja riittävän pientä suihkun nopeutta /5, s.57/.

### 3.3 Käyttökohteet

Syrjäyttävän ilmanjakotavan on havaittu olevan parempi verrattaessa sitä perinteiseen sekoittavaan ilmanjakoon mm. ravintoloissa, kokoushuoneissa, luokkahuoneissa, teattereissa sekä muissa kohteissa, joissa huonekorkeus on riittävä syrjäyttävän järjestelmän toiminnan kannalta. Syrjäyttävää ilmanvaihtoa käytetään paljon myös teollisuudessa, jossa lämpökuormat ovat suuria /4, s.3/.

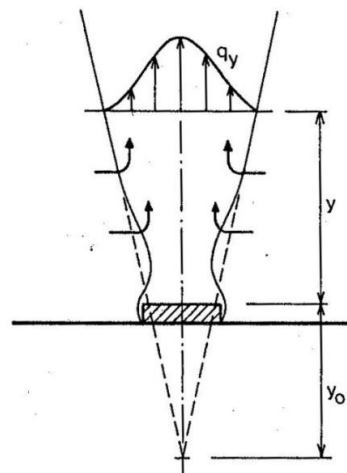
Syrjäyttävää ilmanjakotapaa ei suositella käytettäväksi tiloissa, joissa ilman laatu ei ole ongelma, vaan ongelman aiheuttavat suuret lämpökuormat. Tällaisessa tilanteessa on usein suositeltavampaa käyttää sekoittavaa ilmanjakotapaa, jossa tilan lämpökuormat poistetaan esimerkiksi jäähdytyspalkeilla. Syrjäyttävää ilmanjakotapaa ei myöskään suositella käytettäväksi, jos ilman epäpuhtaudet ovat ympäröivää ilmaa viileämpiä, ilman liikkeestä aiheutuvat veto-ongelmat huoneessa ovat suuria tai huonekorkeus ei ole riittävä ilmavyöhykkeiden kerrostumiseksi. /2, s.1./

### 3.3.1 Pluumit

Pluumit ovat kuumien tai lämpimien kappaleiden aiheuttamia ylöspäin suuntautuvia ilmavirtauksia, tai vastaavasti kylmien kappaleiden aiheuttamia alaspäin suuntautuvia ilmavirtauksia /2, s.5/.

Oleskeluvyöhykkeellä oleva lämmönlähde voi usein toimia myös epäpuhtauslähteenä. Tyypillisiä tapauksia ovat esimerkiksi toimistojen kopiokoneet, teollisuudessa hitsauspisteet sekä yleisesti tilassa olevat ihmiset. /4, s.7./ Tällaisissa tilanteissa syrjäyttävä ilmanvaihto on suositeltava ratkaisu, sillä ei-toivottu epäpuhdas ilma on myös lämmintä ja se nousee ilman tiheyseroista johtuen muuta ilmaa kevyempänä ylöspäin kohti huoneen yläosaa, josta se poistetaan.

Kuuma kappale synnyttää vapaan konvektiovirtauksen suoraan ylöspäin (kuva 3), jossa virtauksen tilavuus ja poikkipinta-ala kasvavat ilman liikkeessä ylöspäin.



**KUVA 3. Kuuman kappaleen aiheuttama vapaa konvektiovirtaus /4, s.6/**

Lämmönlähteet voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään, pistemäisiin ja viivamaisiin lämmönlähteisiin. Käytännön tilanteissa pluumit muodostuvat kuitenkin usein tasomaisista pysty- tai vaakasuorista pinnoista.

Pistemäisen kuumen kappaleen aiheuttama ylöspäin suuntautuva tilavuusvirta voidaan määrittää yhtälöllä 1.

$$q_v = 5 * \Phi^{1/3} * z^{5/3} \quad (1)$$

$q_v$  = Lämmönlähteen aiheuttama tilavuusvirta, l/s

$\Phi$  = Lämmönlähteen konvektiivinen teho, W

$z$  = Etäisyys lämmönlähteestä, m

Vastaavasti viivamaisen lämmönlähteen aiheuttama tilavuusvirta voidaan määrittää yhtälöllä 2.

$$q_v = 13 * \Phi^{1/3} * z \quad (2)$$

$q_v$  = Lämmönlähteen aiheuttama tilavuusvirta pituusyksikköä kohden, l/sm

Lämmönlähteiden aiheuttamat termiset voimat ovat usein huomattavasti suurempia verrattuna syrjäytysilmanjaon hitausvoimiin /6, s.10/.

Syrjäyttävän ilmanvaihdon käyttövoimana toimivat konvektiovirtaukset. Tästä syystä suunnitteluvaiheessa olisi erittäin tärkeää selvittää ja määritellä tilassa sijaitsevat kiinteät lämmönlähteet mahdollisimman tarkkaan, jolloin niiden huomioon ottaminen suunnitelmissa on mahdollista ja lopputulos olisi hyvä.

### 3.3.2 Epäpuhtaudet

Syrjäyttävää ilmanjakotapaa suositellaan, kun ilmassa olevat epäpuhtaudet ovat lämpimämpiä kuin ympäröivä ilma. Epäpuhdasta ilmaa raskaampi ja viileämpi tuloilma syrjäyttää tiheys-erojen vaikutuksesta epäpuhtaudet huoneen yläosaan, jolloin tilaan muodostuu puhtaan ja epäpuhtaan ilman rajakerros.

Rajakerroksen korkeutta voidaan säätää tuloilman tilavuusvirtaa muuttamalla. Suunnitteluvaiheessa on kuitenkin tärkeää huomioida, että rajakerroksen on oltava aina oleskeluvyöhykkeen yläpuolella.

Epäpuhtauksien poistotehokkuutta voidaan kuvata yhtälöllä 3. Syrjäyttävä ilmanjakotapa on noin 5-30 % sekoittavaa ilmanjakotapaa tehokkaampi epäpuhtauksien poistotehokkuuden kannalta. /7, s.137./

$$\varepsilon_c = \frac{C_p - C_t}{C_h - C_t} \quad (3)$$

$\varepsilon_c$  = Epäpuhtauksien poistotehokkuus

$C_p$  = Poistoilman epäpuhtauspitoisuus

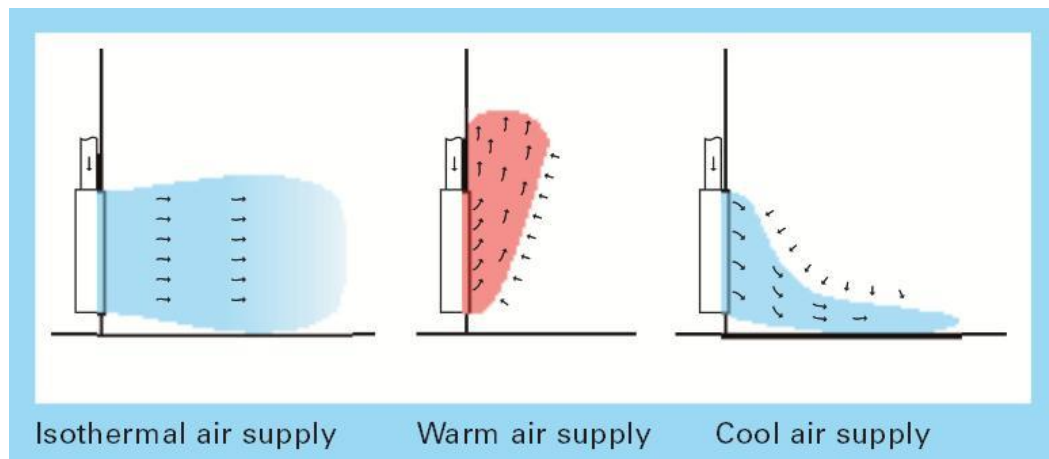
$C_h$  = Tarkasteltavan kohdan epäpuhtauspitoisuus

$C_t$  = Tuloilman epäpuhtauspitoisuus

### 3.3.3 Lämpötilat

Syrjäytysilmanvaihdoissa tuloilman lämpötila on usein muutaman asteen alhaisempi kuin tarkasteltavan huoneen lämpötila. Tavallisesti tuloilman- ja huoneilman välinen lämpötila-ero on 4 – 7 °C, jolloin huonelämpötilan ollessa 23–25 °C on tuloilman lämpötila normaalitilanteessa 16–21 °C. Tuloilman ja poistoilman välinen lämpötila-ero on tavallisesti 5-12 °C riippuen tilasta poistettavan lämpökuorman määrästä sekä huoneen korkeudesta. /3, s.2./

Tuloilman- ja huoneen välisellä lämpötila-erolla on suuri vaikutus piennopeuslaitteen ilmasuihkuun ja ilman jakautumiseen huoneessa. Kuvassa 4 on esitetty isotermisen, lämpimän ja viileän tuloilman vaikutus ilmasuihkun suuntaan.



**KUVA 4. Ilmasuihkun käyttäytyminen eri tuloilman lämpötiloilla /3/**

Käytännössä syrjäyttävää ilmanjakotapaa käytetään usein jäähdytystarkoituksessa, jolloin tuloilma on huoneilmaa viileämpää. Tällöin tuloilman nopeus on oltava riittävän pieni, jotta viileä ilmavirta ei aiheuttaisi tilassa vedon tunnetta.

Jäähdytykseen käytettyä energiaa voidaan säästää käyttämällä sekoittavan sijasta syrjäyttävää ilmanjakotapaa. Kun oleskeluvyöhykkeelle luodaan matalampi lämpötila kuin tilan yläosaan, saadaan tilan keskilämpötila pidettyä korkeampana, eikä jäähdytykseen tarvita niin paljon energiaa kuin sekoittavassa järjestelmässä. Tarkasteltavan tilan lämpötilahyötysuhde saadaan laskettua yhtälöllä 4. /7, s 138./

$$\varepsilon_t = \frac{T_p - T_{sp}}{T_h - T_{sp}} \quad (4)$$

$\varepsilon_t$  = Lämpötilahyötysuhde

$T_p$  = Poistoilman lämpötila, °C

$T_h$  = Huoneilman lämpötila, °C

$T_{sp}$  = Sisäänpuhallus ilman lämpötila, °C

#### 4 TUTKIMUSMENETELMÄT

Piennopeuslaitteita sekä niissä tapahtuvia ilmiöitä tutkittiin laboratorio-olosuhteissa suoritetuilla mittauksilla. Mittausten tarkoituksena oli selvittää piennopeuslaitteissa tapahtuvia ilmiöitä prototyyppien avulla sekä tarkastella markkinoilla olevien piennopeuslaitteiden toiminnan tasoa.

#### 4.1 Ilmamäärän mittaus

Mittauksissa tutkittavalle laitteelle tuleva ilmamäärä saatiin määriteltä tarkasti käyttämällä mittalaippaa, joka on asennettu tiiviisti kahden laippaputkikappaleen väliin. Mittalaippa on metallinen levy, jonka keskellä on laippaputkea pienempi reikä. Laippaputken ja mittalaipan läpi johdettava ilmavirta aiheuttaa tilavuusvirrasta riippuvan paine-eron mittalaipan yli. Mitattaessa painetta ennen ja jälkeen mittalaippaa saadaan putkessa kulkevan ilman tilavuusvirta määritettyä yhtälöllä 5. Tietokonelaitteisto laskee mitatun paineen avulla tarkasteltavan laitteen tilavuusvirran, joka on luettavissa näyttöpäätteeltä.

$$q_v = A * \Delta p^B \quad (5)$$

$q_v$  = Laipan läpi kulkeva ilman tilavuusvirta,  $dm^3/s$

$A$  = Laipalle määritetty laskentakerroin

$\Delta p$  = Laipan yli mitattu paine-ero, Pa

$B$  = Laipalle määritetty eksponenttiarvo

Mittauksissa laitteelle tulevan ilmavirran suuruus säädettiin halutuksi ohjaamalla puhaltimen pyörimisnopeutta taajuusmuuttajalla. Ilmavirta saatiin säädettyä tarkasti halutuksi käyttämällä etäohjausta, joka mahdollisti ilmavirran samanaikaisen säätämisen ja laitteelle tulevassa ilmavirrassa tapahtuvan muutoksen seurannan.

#### 4.2 Ilman nopeuden mittaus

Nopeusmittauksien tarkoituksena oli tarkastella erilaisten laitteiden ulospuhalluksen virtauskuviota ja ilmasuihkun tasaisuutta. Nopeusmittauksia tehtiin erilaisille laitteille käyttäen eri ilmavirtoja sekä muuttamalla laitteen rakennetta esimerkiksi poistamalla siitä jokin rakenteellinen osa. Erilaisten laitteiden ja variaatioiden avulla selvitettiin eri rakenneosien vaikutusta laitteen ilmanjakoteknisiin ominaisuuksiin. Nopeusmittaukset suoritettiin Halton Oy:n tutkimuskeskuksen tiloissa yrityksen omilla mittauslaitteilla.

Ilman nopeusmittauksia suoritettiin laitteen muodosta riippuen useista eri pisteistä sekä käyttämällä eri etäisyyksiä. Mittausjakson kesto yhdessä pisteessä oli kolme minuuttia, jolta ajalta tietokone laski mittausjakson eri suureista otettujen mittausten keskiarvot. Mittaustulokset tallennettiin muistiin analysointia sekä myöhempää käsittelyä varten.

#### **4.2.1 Nopeusmittauslaitteisto**

Nopeusmittauksissa ilman nopeutta mitattiin samanaikaisesti kymmenellä suuntariippumattomalla nopeusanturilla, jotka oli sijoitettu pystysuunnassa tasaisin välimatkoin tarkasteltavan laitteen korkeuden mukaan poikittain laitteen ulospuhallusvirtausta vasten. Nopeusanturit olivat malliltaan HT-426 ja niiden valmistajana SENSOR. Antureiden mittaalue oli 0,05-5,0 m/s. Mittaustarkkuus alueella 0,05-1,0 m/s oli  $\pm 0,02$  m/s  $\pm 1$  % lukuarvosta ja alueella 1,0-5,0 m/s  $\pm 3$  % lukuarvosta.

Nopeusmittaukset suoritettiin isotermisinä mittauksina, jolloin tuloilman lämpötila on sama kuin laitetta ympäröivän ilman lämpötila. Tuloilman lämpötilan määrittämiseksi asennettiin laitteen kytkentäkanavaan lämpötila-anturi juuri ennen laitetta. Mittaushuoneen seinillä olevien neljän lämpötila-anturin avulla tietokone laski huonetilassa vallitsevan keskilämpötilan. Näitä kahta lämpötilaa hyväksi käyttäen säädettiin huoneeseen mittauksien edellyttämät olosuhteet säätämällä tuloilman lämpötila sopivaksi ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspattereiden avulla. Nopeusmittauksissa käytetyt lämpötila-anturit olivat malliltaan PT-100-vastuslämpötila-antureita, joiden valmistajana oli SKS SENSORS. Lämpötila-antureiden kalibrointi oli voimassa alueella -200 - +650 °C antureiden tarkkuus lämpötilan ollessa 0 °C oli  $\pm 0,15$  °C ja 100 °C  $\pm 0,35$  °C.

Mittausten yhteydessä tarkastettiin myös laitteessa tuloilman aiheuttama staattinen paine-ero huoneilmaan nähden. Staattinen paine-ero mitattiin laitteen kytkentäkanavasta, ennen laitetta, kanavaan asennetusta mittaussnipasta. Paineen mittaamiseen käytettiin paine-erolähetintä, jonka malli oli FURNESS CONTROLS – FCO332. Paine-erolähettimen tarkkuus oli  $<0,5$  % lukuarvosta. Samaa mittaustapaa käytettiin myös ilman tilavuusvirtaa mitattaessa laippaputkesta paine-eron avulla.

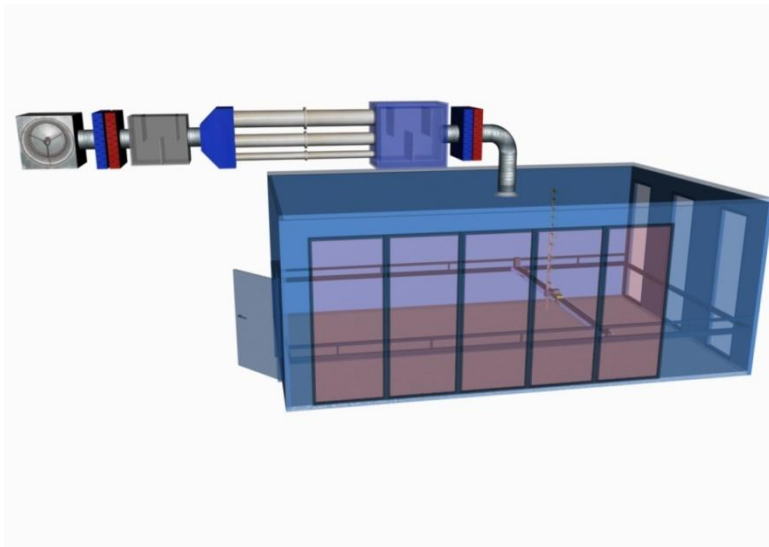


Kaikkien nopeusmittauksissa käytettyjen antureiden mittaustulokset johdettiin NATIONAL INSTRUMENTS – tiedonkeruujärjestelmään, joka muunsi tulokset tietokonepäätteeltä luettavaan muotoon.

#### 4.2.2 Nopeusmittaushuone

Nopeusmittaukset suoritettiin tilassa, joka on pääasiassa tarkoitettu ilmanvaihdon päätelaitteiden heittopituuksien mittaukseen. Kyseinen tila soveltui tässä työssä esiteltyn mittausten suorituspaikaksi erinomaisesti, sillä mittaolosuhteet olivat hyvin säädettävissä tarpeen mukaisiksi ja tuloksiin vaikuttavat häiriötekijät tilassa olivat vähäisiä.

Kaikki huoneen seinät ovat sisäseinä, jolloin huoneeseen ei vaikuta rakennuksen ulkoinen lämpötila, vaan tilan lämpötila määräytyy välitilan lämpötilan mukaan. Huoneen mitat olivat: pituus 10 m, leveys 6 m ja korkeus 3,8 m. Tuloilma huoneen keskelle sijoitetulle tutkittavalle laitteelle tuotiin katosta. Mittaushuone soveltuu laitteille, joiden kytkentäkanavan koko on välillä 100–315 mm ja tarkasteltava ilmavirta 10–250 l/s. Huoneen sisäseinillä on kiskot, joita pitkin kahteen suuntaan liikkuvaa, nopeusanturein varustettua salkoa oli mahdollista liikuttaa. Mittauslaitteisto on varustettu robottilla, joka voidaan ohjelmoida suorittamaan useista pisteistä tapahtuvia ilman nopeusmittauksia. Tässä työssä robottia ei käytetty mittauspisteiden vähäisyydestä johtuen, vaan nopeusmittausantureiden siirrot tehtiin manuaalisesti. Nopeusmittaushuone on ISO 5219 standardin mukainen. Kuvassa 5 on esitetty nopeusmittaushuone laitteistoineen.



**KUVA 5. Periaatekuva nopeusmittaushuoneesta**

### 4.3 Äänimittaukset

Äänimittausten tarkoituksena oli selvittää erilaisten laitteiden tuottamaa äänentehotaso laitteen läpi kulkevaa ilmapirta muuttamalla. Laitteita vertailtiin tarkastelemalla laitteen tilavuusvirran suuruutta tietyllä äänentehotasolla. Tarkasteltavat äänentehotasot olivat 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB ja 45 dB. Kaikki äänimittaukset on ilmoitettu käyttäen A-painotusta. Äänimittausten avulla saatiin tietoa erilaisten rakenteiden aiheuttamasta äänentuotosta.

#### 4.3.1 Äänimittauslaitteisto

Laitteen tuottamaa ääntä mitattiin käyttämällä yhtä matalille äänitasoille tarkoitettua mikrofonia. Mikrofonin oli malliltaan BRÜEL & KJAER – Type 4179. Mikrofonin käyttämä esivahvistin oli BRÜEL & KJAER – Type 2660.

Äänimittaukset suoritettiin käyttäen tietokoneohjattua mittauslaitteistoa, johon kuului mikrofoniin ja esivahvistimen lisäksi myös äänianalysointilaitteisto. Äänianalysointilaitteen malli oli NORSONIC – REAL TIME ANALYSER 840. Jokaisessa mittauksessa laitteisto mittasi äänenpainetasoa terssikaistoittain kolmesta huoneen eri pisteestä 32 sekunnin ajan laskien mitattujen tulosten perusteella keskiarvon.

Äänianalysointilaitteisto käsittelee automaattisesti tuloksia laskemalla ensin kolmen terssikaistan yhteenlaskulla (yhtälö 6) äänenpainetasot oktaavikaistoittain. Tämän jälkeen laite suoritti A-painotuksen taulukon 1 osoittamalla tavalla. Lopuksi kaikkien oktaavikaistojen A-painotetut arvot laskettiin yhteen käyttämättä yhtälöä 6 ja muuttamalla äänenpainetaso arvo äänentehotasoiksi yhtälöllä 7.

$$L_p = 10 * \log (10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}}) \quad (6)$$

$L_p$  = Äänenpainetaso, dB

$L_{p1}, L_{p2} \dots L_{pn}$  = Äänenpainetaso tietyllä taajuudella, dB

**TAULUKKO 1. A-painotus oktaavikaistoittain**

Taajuus, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A-painotus, dB	- 26,2	- 16,1	- 8,6	- 3,2	0	1,2	1	- 1,1

$$L_w = L_p - 10 * \log \left( \frac{Q}{4 * \pi * r^2} + \frac{4}{A} \right) dB \quad (7)$$

$L_w$  = Äänentehotaso, dB

$L_p$  = Äänenpainetaso, dB

$Q$  = Laitteen asemasta riippuva suuntakerroin

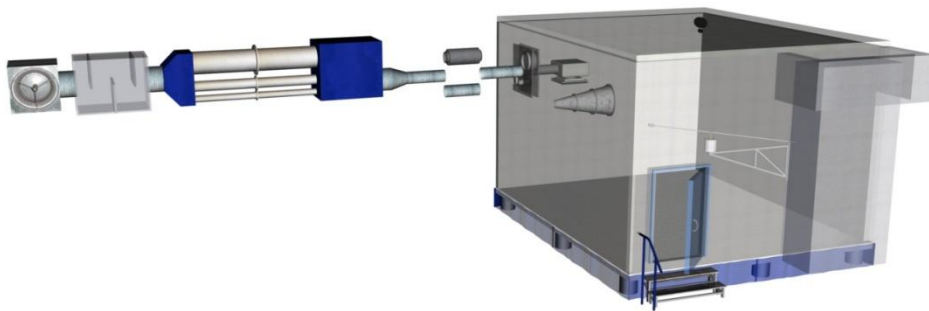
$r$  = Mittauspisteen etäisyys äänilähteestä, m

$A$  = Huoneen kokonaisabsorptioala, m<sup>2</sup>

#### 4.3.2 Jälkikaiuntahuone

Kaikki äänimittaukset suoritettiin jälkikaiuntahuoneessa, jossa vallitsee diffuusi äänikenttä. Diffuusissa äänikentässä äänenpainetaso on sama huoneen kaikissa osissa. Tästä syystä ei mittauspisteen paikan valinnalla ole merkitystä mittaustulokseen.

Jälkikaiuntahuoneen mitat ovat: korkeus 4650 mm, leveys 5850 mm ja pituus 7360 mm. Jälkikaiuntahuoneen tilavuus on 200 m<sup>3</sup>, ja se on rakennettu betonista standardin ISO 3741 mukaisesti. Huoneen alla olevat, ilmatäytteiset kumipalkeet estävät rakennuksen runkoäänien pääsyn mittaushuoneeseen. Kuvassa 6 on esitetty jälkikaiuntahuone laitteistoinen.



**KUVA 6. Periaatekuva äänimittaushuoneesta**

#### 4.4 Savutestit

Savutesteillä saatiin selvitettyä karkeasti tutkittavan laitteen ulospuhallusvirtauksen tasaisuutta sekä ilmasuihkun suuntaa. Savutestit suoritettiin nopeusmittausten yhteydessä samassa tilassa. Savutesteissä käytetty savu tuotettiin laitteelle tulevaan kytkentäkanavaan sijoitetulla savukoneella, joka oli malliltaan MICRO-MIST SFX. Savutestit videoitiin myöhempää analysointia varten.

Savun havaitsemisen helpottamiseksi asetettiin laitteen taakse mustasta kankaasta valmistettu sermi, jota vasten harmaa savu erottui helposti. Savun erottuvuutta parannettiin käyttämällä apuna yhtä halogeenivalaisinta, joka oli sijoitettu lattiantasolle. Halogeenivalaisimen ja mustan kangas-sermin väliin asetettiin tutkittava laite. Kamera asetettiin jalustalle halogeenivalaisimen viereen. Savun tuottoa ohjattiin savukoneeseen liitetyllä kauko-ohjaimella, joka mahdollisti savukoneen ja kameran samanaikaisen käytön.

Savutesteissä havaittiin tuloilman lämpötilan nousevan lämpimän savun vaikutuksesta noin  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jonka takia laitteelle johdettavan tuloilman lämpötilaa säädettiin hieman alilämpöiseksi ennen savutestien suorittamista. Savutesteissä laitteelle tulevana ilman tilavuusvirtana käytettiin 150 l/s.

### 5 TULOKSET

Tulokset-osiossa on esitetty tähän opinnäytetyöhön liittyvien mittausten ja testien tulokset. Ensimmäisinä tutkimuskohteina olivat kaksi yksinkertaista prototyyppiä. Prototyyppien avulla selvitettiin lähtötilanne, jonka pohjalta uusien laitteiden kehittäminen voitaisiin aloittaa.

Prototyyppien lisäksi tutkittiin nykyisten piennopeuslaitteiden toimintaa, ominaisuuksia ja rakennetta. Tässä työssä tutkitut laitteet 1-3 ovat markkinoilla olevia, eri valmistajien piennopeuslaitteita. Kaikki laitteet olivat malliltaan puolipyöreitä. Kaikissa tutkittavissa laitteissa tuloilmakanavan liitäntäkokoo oli 200 mm pyöreä kanava, ja se kytkettiin laitteisiin päältäpäin.

## 5.1 Prototyyppi 1

Ensimmäisellä prototyypillä testattiin yksinkertaisen reikälevyvaipan toimivuutta piennopeuslaitteena. Prototyypin rakenne koostui yksinkertaisuudessaan reikälevystä, joka oli mankeloitu sylinterin muotoon ja johon oli liitetty pohja sekä liitântäkauluk-sella varustettu päätykappale. Reikälevyn vapaan-alan osuus levyn pinta-alasta oli 23 %. Prototyypin korkeus oli 1000 mm, sylinterin halkaisija 330 mm ja kanavaliitännän koko 250 mm. Prototyyppi 1 on esitetty kuvassa 7.

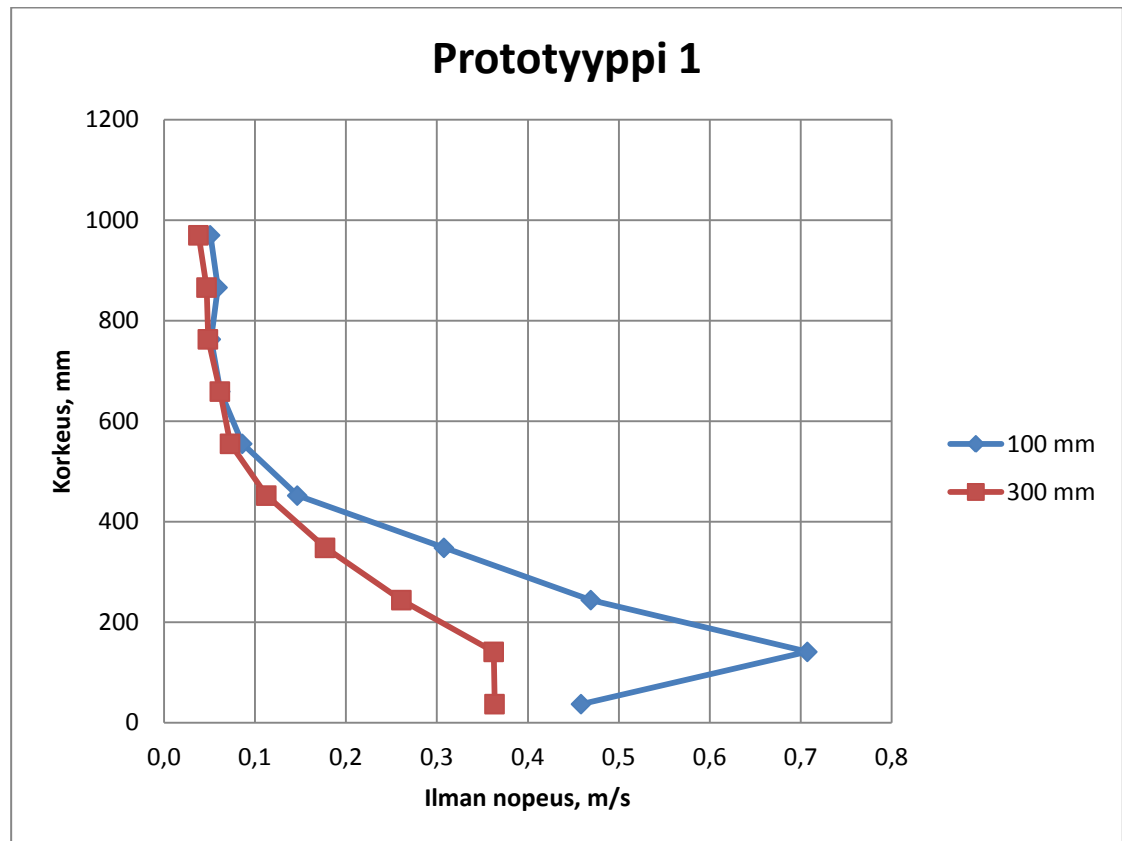


**KUVA 7. Prototyyppi 1**

Prototyypin toimintaa tarkasteltiin määrittämällä ilman ulospuhalluskuvio mittaamalla ilman nopeutta laitteen edestä 35, 100 ja 300 mm etäisyyksiltä. Koska tarkasteltava prototyyppi oli malliltaan sylinterin muotoinen ja näin ollen kaikkiin suuntiin symmet-rinen, voitiin heittokuvion olettaa olevan samanlainen prototyypin kaikilla sivuilla. Nopeusmittauksissa ilman tilavuusvirtana käytettiin 140 l/s.

Nopeusmittauksilla saaduista tuloksista on nähtävissä, ettei yksinkertainen reikälevy tasaa virtausta koko ulkopinnan-alalle, vaan suurin osa ilmavirrasta tulee ulos laitteen alaosaan (kuva 8).

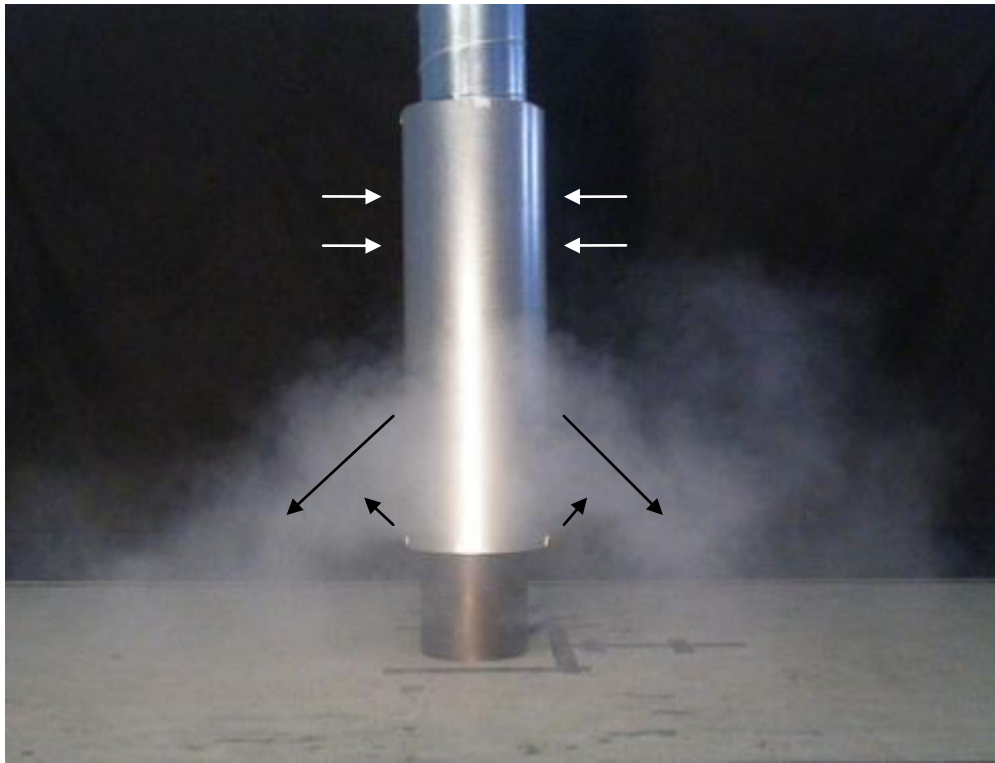
Ilmavirtaus laitteen sisällä on pystysuora ja virtaussuunta kulkee ylhäältä alas, jolloin laitteen pohjaan törmäävä ilmavirta aiheuttaa suuren paineen laitteen alaosaan, josta se purkautuu ulos reikälevyn läpi jättäen yläosan puhalluksen olemattomaksi. Mitattu ilman maksiminopeus oli 0,71 m/s etäisyydellä 100 mm, ja 0,36 m/s etäisyydellä 300 mm. Prototyypin 1 nopeusmittaustulokset eri etäisyyksillä on esitetty liitteessä 1.



**KUVA 8. Ilman nopeusprofiili tilavuusvirralla 140 l/s, etäisyyksillä 100 ja 300 mm, prototyypissä 1**

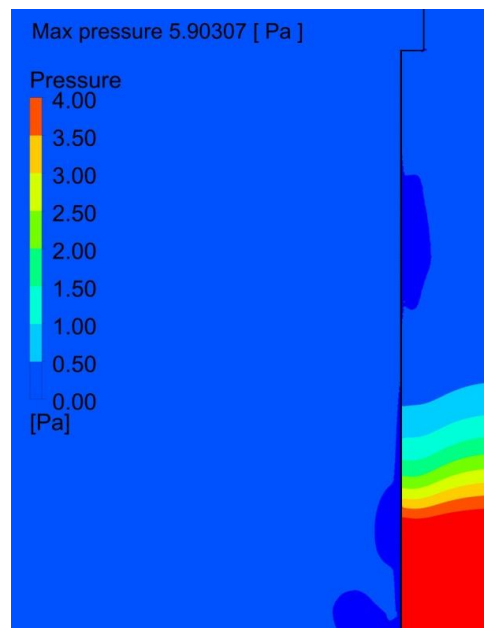
Savulla testattaessa havaittiin pohjaan törmäävän ilmavirran kääntävän ulospuhallussuihkua loivasti ylöspäin, kun taas hieman ylempää ulostuleva voimakkaampi virtaus suuntasi ilmasuihkun viistoon alaspäin. Näiden kahden virtauksen yhteisvaikutuksesta syntyvä ulospuhalluskuvio oli kiilamainen, ja sen virtaus kohdistui alaviistoon. Prototyypin 1 savutestissä havaittu ulospuhalluskuvio on esitetty kuvassa 9.

Lisäksi savutestissä havaittiin laitteen yläosan indusoivan ilmaa reikälevynläpi laitteen sisään, jolloin virtaus laitteen yläosalla kulkee väärään suuntaan. Tämä ilmiö johtuu laitteen sisällä tapahtuvan voimakkaan virtauksen aiheuttamasta alipaineesta. Virtaus-simulointiohjelmalla mallinnettu poikkileikkauskuvio laitteen virtauksista on esitetty liitteessä 2.



**KUVA 9. Prototyypin 1 testaus savulla**

Käytettäessä prototyypin 1 mukaista, yksinkertaista reikälevy rakennetta aiheuttaa kytkentäkanavasta tuleva voimakas ilmasuihku laitteen pohjalle törmätessään alueen, jossa dynaaminen paine muuttuu lähes kokonaan staattiseksi paineeksi. Virtaussimulointiohjelmalla mallinnettu tilanne prototyypin 1 painejakaumasta on esitetty kuvassa 10.



**KUVA 10. Painetasot mallinnettuna virtaussimulointiohjelmalla prototyypissä 1**

## 5.2 Prototyyppi 2

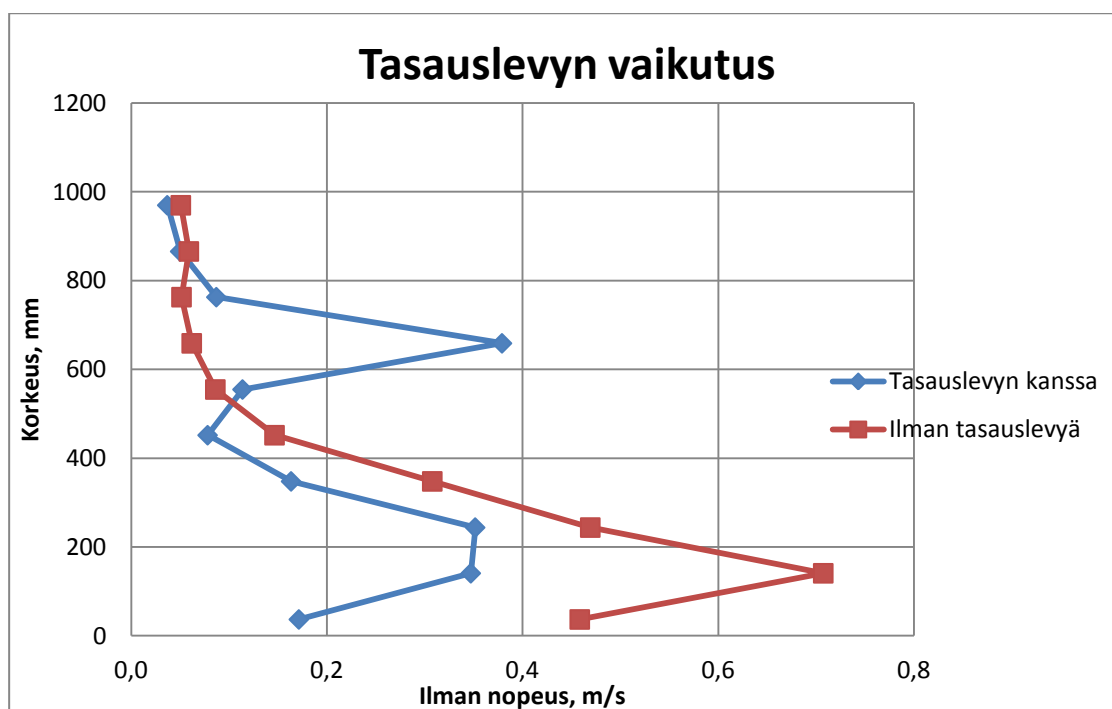
Prototyyppillä 2 testattiin laitteen sisään, poikittain virtausta vasten asetetun reikälevyn vaikutusta ulospuhalluskuvioon sekä nopeuteen. Prototyyppi 2 muokattiin käyttämällä hyväksi prototyypin 1 rakennetta lisäämällä sen sisään rei'itetty tasauslevy. Tasauslevy oli pyöreäksi leikattu reikälevy, jonka vapaan-alan osuus levyn pinta-alasta oli 45 %. Levyn halkaisija oli 310 mm, ja se asennettiin laitteeseen 680 mm korkeudelle laitteen pohjasta mitattuna. Prototyyppiin lisätty tasauslevy on esitetty kuvassa 11.



**KUVA 11. Tasauslevy prototyypissä 2**

Tasauslevyn vaikutuksen havaitsemiseksi nopeusmittauksissa käytettiin samaa ilmamäärää sekä etäisyyksiä kuin prototyypin 1 tutkimisessa. Samoilla mittausjärjestelyillä saatiin keskenään vertailukelpoiset tulokset, joista tasauslevyn vaikutus oli selvästi havaittavissa. Kuvasta 12 on nähtävissä tasauslevyn vaikutus ilmasuihkun nopeuteen sekä ulospuhalluskuvioon etäisyydellä 100 mm ilmamäärän ollessa 140 l/s.



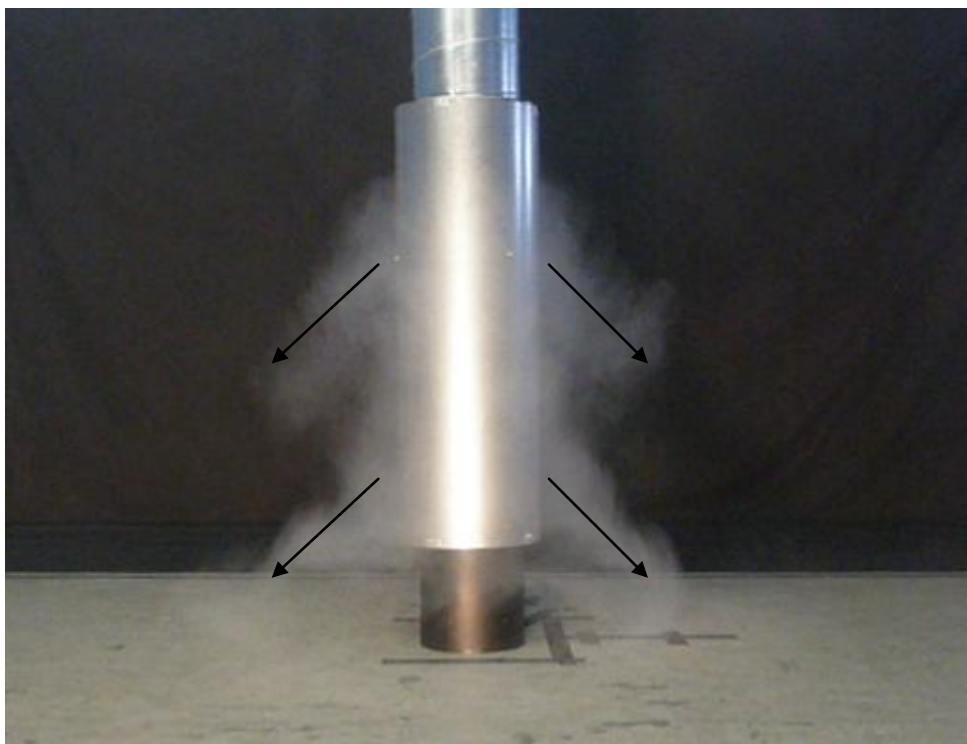


**KUVA 12. Tasauslevyn vaikutus ulospuhalluskuvioon**

Nopeusmittaustuloksia tarkasteltaessa havaittiin ulospuhalluskuvion muodostuvan kahdesta erillisestä ilmasuihkusta, jotka olivat nopeuksiltaan samansuuruisia. Tasauslevy paransi prototyypin toimivuutta huomattavasti tiputtaen 100 mm etäisyydeltä mitatun ilman maksiminopeuden lähes puoleen.

Laitteen sisään asennettu tasauslevy jakoi kammion kahteen osaan, jolloin kytKentäkanavasta tulevan voimakkaan virtauksen suora pääsy laitteen pohjalle estettiin. KytKentäkanavasta tuleva ilmasuihku törmäsi laitteen sisällä olevaan tasauslevyyn, jolloin osa ilmasta purkautui levyn kohdalla ulos laitteesta. Tasauslevyn läpäissyt ilmavirta törmäsi laitteen pohjaan, jolloin se kääntyi sivulle synnyttäen toisen voimakkaan ilmasuihkun laitteen alaosaan.

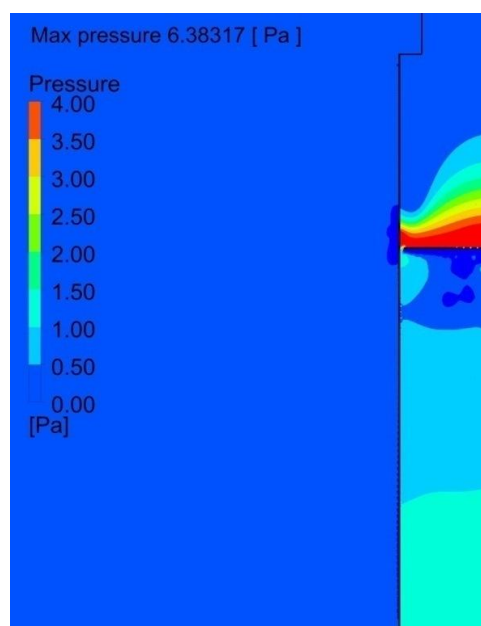
Prototyypin toimintaa testattaessa savukokeilla havaittiin tasauslevyyn sekä laitteen pohjaan törmäävän ilmasuihkun aiheuttamien ulospuhallus suihkujen olevan lähes samansuuntaiset. Tasauslevy ei siis sovellu sellaisenaan kääntämään ilmasuihkua ideaalitalanteen mukaisesti suoraan sivulle, vaan tasauslevyn korkeudelta ulos tuleva ilmasuihku kohdistuu jyrkästi alaviistoon (kuva 13). Lisäksi savutestissä todettiin tasauslevyn estävän laitteen yläosalla havaitun induktioilmiön syntymisen, jolloin ongelmaa prototyypin vaipan läpi väärään suuntaa virtaavasta ilmasta ei enää ollut.



**KUVA 13. Prototyypin 2 testaus savulla**

Tasauslevy tasaa laitteen kammiossa olevaa painetta kuvan 14 mukaisesti. Suurin painealue muodostuu tasauslevyn yläpinnalle, kun kytkentäkanavasta tuleva voimakas ilmasuihku törmää tasauslevyn pintaan. Tasauslevy estää virtauksesta aiheutuvan suuren paineen muodostumisen laitteen pohjalle, jolloin tasauslevyn alapuoliseen kammio-osaan muodostuva paine tasaantuu. Paineen jakautuessa tasaisemmin laitteen kammioon saadaan laitteesta ulospuhallettava ilmamäärä tulemaan suuremmalta pinta-alalta, jolloin ilman nopeus pienenee ja laitteen toiminta paranee.

Prototyypin 2 virtaussimulointiohjelmalla mallinnetusta kuvasta nähdään prototyypin yläosan ja ulkopuolisen paineen olevan samat, jolloin laitteen yläosalla tapahtuva virtaus on vähäistä. Liitteessä 4 on esitetty prototyypistä 2 mallinnettu poikkileikkauskuva, josta on nähtävissä yksityiskohtaisesti laitteessa syntyvien virtausten käyttäytymisen. Virtaussimulointiohjelman mukaista laitteen yläosalla tapahtuvaa, ylöspäin suuntautuvaa ilmasuihkua ei käytännön kokeilla havaittu.

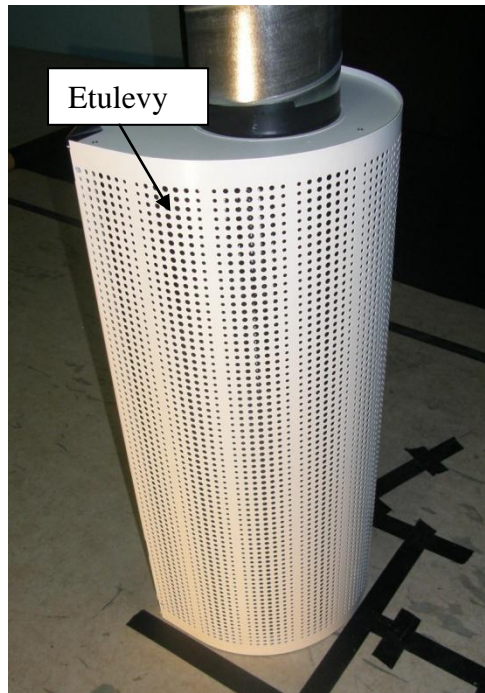


**KUVA 14. Painetasot mallinnettuna virtaussimulointiohjelmalla prototyypissä 2**

### 5.3 Laite 1

Laitteen 1 (kuva 15) rakenne muodostui useasta kerroksesta laitteen etuseinämässä sekä laitteen sisällä kammiossa olevasta muovisesta verkko-osasta. Ulospuhallusvirtausta jakavan seinämän ensimmäisen kerroksen ulkoapäin katsottuna muodosti rei'itetty etulevy. Etulevyn vapaan virtauksen pinta-ala oli  $0,17 \text{ m}^2$ , jolloin vapaan virtausalan osuus etulevyn kokonaispinta-alasta oli 18 %. Seuraavan kerroksen muodosti etulevyn takana oleva muovista valmistettu joustava kennolevy, joka oli kiinnitettynä kolmantena kerroksena toimivaan rei'itetyn peltilevyn pintaan (kuva 16). Kennolevyn ja kolmannen kerroksen reikälevy yhdistelmän vapaan virtauksen pinta-ala oli  $0,13 \text{ m}^2$ , jolloin vapaan alan osuus kolmannen kerroksen reikälevyn pinta-alasta oli noin 16 %. Laitteen sisälle, 800 mm korkeuteen, poikittain virtausta vasten oli asennettu muovinen tasauslevy (kuva 17). Tasauslevyn vapaan pinta-alan osuus levyn kokonaispinta-alasta oli 55 %. Laitteen kokonaiskorkeus oli 1000 mm.

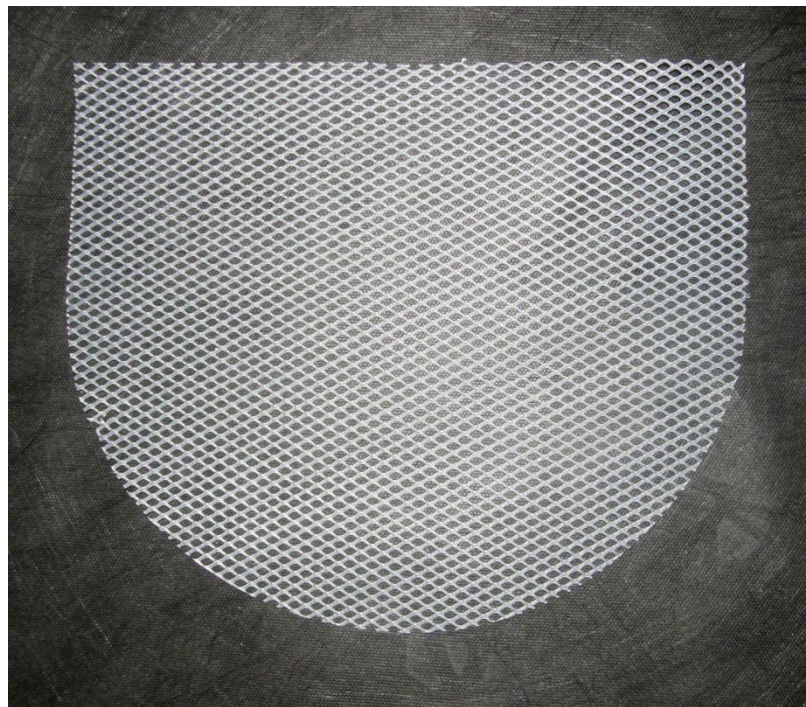
Laitteen 1 tarkastelussa selvitettiin etulevyn, tasauslevyn, sekä muovikennon vaikutusta kyseisen laitteen virtaus- sekä äänitekniisiin ominaisuuksiin. Laitteen ulospuhalluskuvion sekä nopeuden määrittämiseksi ilmapirtaa mitattiin neljästä pisteestä laitteen ympäriltä käyttäen etäisyyksinä 100 ja 300 mm. Mittauspisteiden sijainti laitteeseen nähden on esitetty kuvassa 18. Nopeusmittauksissa tuloilman tilavuusvirtana käytettiin 150 l/s.



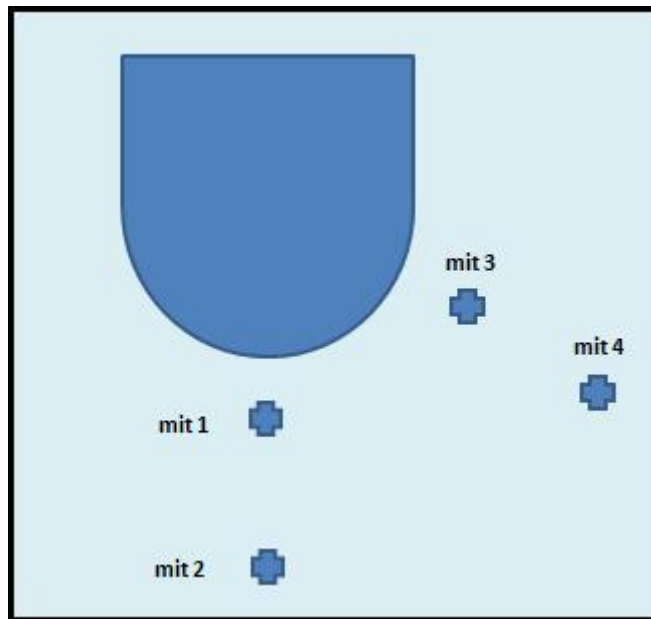
**KUVA 15. Laite 1. vakiona**



**KUVA 16. Laite 1. ilman etulevyä**



**KUVA 17. Laitteen 1 tasauslevy**

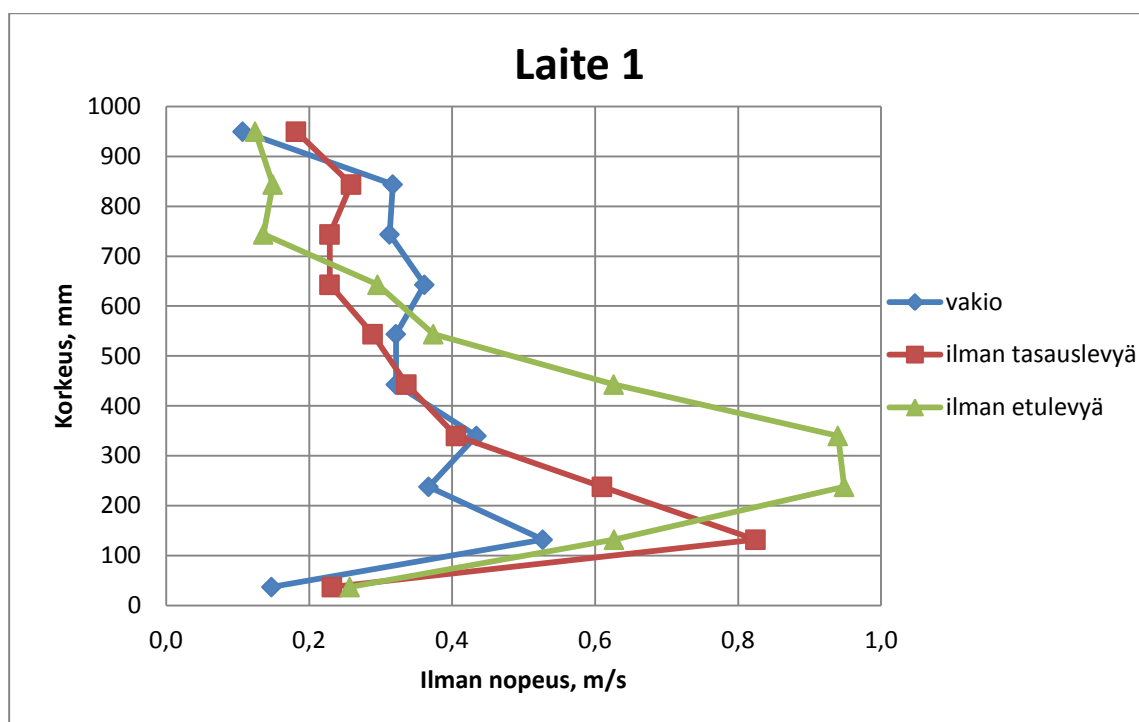


**KUVA 18. Nopeusmittauksissa käytettyjen mittauspisteiden asemat laitteeseen nähden**

Suoritettujen nopeusmittausten perusteella todettiin etulevyllä olevan suurin yksittäinen merkitys ilman tasaisen ulospuhallusvirtauksen aikaansaamiseksi. Etulevy aiheuttaa virtausvastuksen koko halutulle virtausalalle kasvattaen laitteen sisällä olevaa painetta, jolloin ilma tulee tasaisesti ulos laitteesta koko etulevyn alueelta. Ilman etulevyn tasaavaa vaikutusta ilman nopeus kasvaa laitteen alaosassa huomattavasti, jolloin vastaavasti yläosan virtaus jää suhteessa heikommaksi.

Laitteen 1 kammion yläosassa oleva tasauslevy tasoittaa laitteesta ulospuhallettavaa virtausta, jolloin mittauspisteessä 1 havaittu ilman maksiminopeus pienenee tasauslevyn vaikutuksesta noin 0,3 m/s tilavuusvirralla 150 l/s. Tasauslevy aiheuttaa liitäntäkanavasta laitteen sisään tulevalle voimakkaalle ilmasuihkulle virtausvastuksen, jolloin laitteen pohjaan törmäävän ilmasuihkun nopeus pienenee ja paine jakautuu kammiassa tasaisemmin myös laitteen yläosalle.

Kuvasta 19 on nähtävissä tasauslevyn ja etulevyn vaikutus laitteesta ulospuhallettavan ilmasuihkun nopeuteen eri korkeuksilta mitattuna. Laitteelle 1 suoritettujen nopeusmittaustulokset eri mittauspisteissä on esitetty liitteessä 5



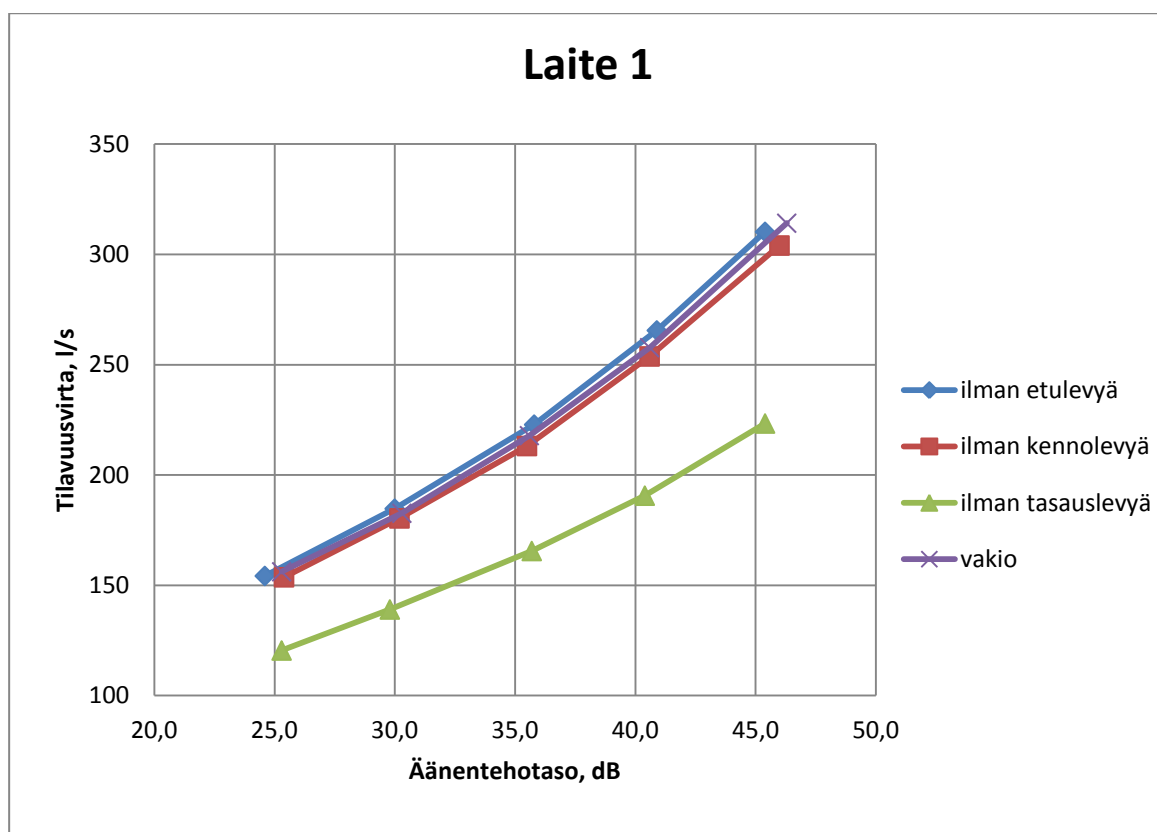
**KUVA 19. Laitteen 1 ulospuhalluksen aiheuttamailman nopeusmittauspisteessä 1, tilavuusvirta 150 l/s, etäisyys 100mm**

Nopeusmittaustulosten perusteella voidaan sanoa laitteen 1 toimivan melko hyvin rakenteen ollessa vakiona. Tasauslevyn sekä etuseinämän rakenteen ansiosta ilmasuihku tulee etulevystä ulos kohtalaisen tasaisesti. Pienimmät ilman nopeudet mitattiin laitteen ylä- ja alareunoissa. Tämä johtuu ilmiöstä, jossa reunimaiset ilmasuihkut pyrkivät yhdistymään laitteen keskeltä tulevaan suurempaan ilmavirtaukseen, jolloin ulospuhalluskuvio on hieman kiilamainen.

Laitteelle 1 suoritetuissa äänimittauksissa selvitettiin etulevyn, kennomaton ja tasauslevyn vaikutusta laitteen äänitekniisiin ominaisuuksiin. Äänimittaukset suoritettiin siten, että mittausten ajaksi laitteesta poistettiin kulloinkin tutkittava laitteen rakenteen osa, jolloin tuloksia vakiolaitteen aiheuttamaan äänentehotasoon verratessa havaittiin rakenneosan aiheuttama muutos.

Laitteen 1 rakenneosien vaikutus laitteen läpi kulkevaan ilman tilavuusvirtaan äänentehotason funktiona on esitetty kuvassa 20. Laitteelle 1 suoritettujen äänimittausten pöytäkirjat on esitetty liitteessä 6.





**KUVA 20. Rakennneosien vaikutus laitteen läpi kulkevaan ilman tilavuusvirtaan äämentehotason funktiona laitteessa 1**

Äänimittaustuloksista on nähtävissä, ettei laitteen 1 etulevyllä ja kennolevyllä ole juurikaan merkitystä laitteen äänitekniisiin ominaisuuksiin. Äänenkehityksen kannalta merkityksellisin laitteen osa on poikittain laitteen kammioon asetettu tasauslevy, joka mahdollistaa suuremman ilmamäärän ulospuhalluksen samalla äämentehotasolla. Laitteen 1 tasauslevyn ansiosta saatiin laitteen läpi kulkevaa ilman tilavuusvirtaa kasvatettua noin 30 % samalla äämentehotasolla.

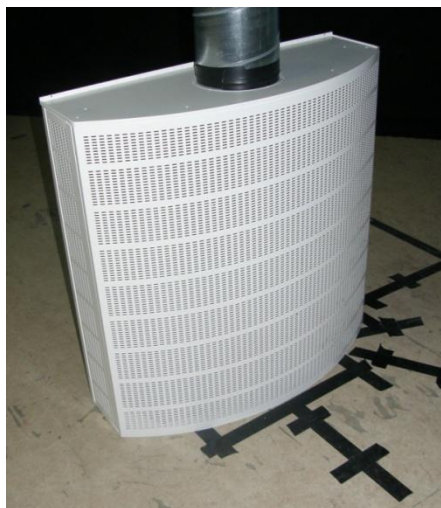
Laitetta testattaessa ilman tasauslevyä havaittiin laitteen kehittävän pumppeavaa ääntä, joka oli kuultavissa selkeästi myös korvakuulolla ilman äänimittauslaitteita. Pumppeava ääni syntyy, kun paine laitteen sisällä vaihtelee. Tasauslevyn ollessa laitteen sisällä ei vastaavaa ongelmaa havaittu, vaan laitteen kehittämä ääni pysyi tasaisena.

## 5.4 Laite 2

Laiteen 2 (kuva 21) etulevyn rakenne koostui kolmesta rei'itetystä etulevyosasta, jotka olivat irrotettavissa laitteen runkorakenteesta. Etulevyssä vapaan virtauksen pinta-ala oli  $0,21 \text{ m}^2$ , jolloin etulevyn vapaan alan osuus etulevystä oli 20,6 %.

Etulevyjen takana oli peltilevyyn kiinnitettynä 80 muovista suutinta (kuva 22). Suutinten yhteenlaskettu vapaan virtauksen pinta-ala oli  $0,15 \text{ m}^2$ , jolloin vapaan alan osuus suutintilevyn pinta-alasta oli 15 %. Peltilevyyn kiinnitettyjen suuttimien puhallus suuntaa voitiin muuttaa pyörittämällä suutinta tai kääntämällä se kokonaan ympäri, jolloin suuttimen puhallussuunta oli suoraan eteenpäin. Suuttimet oli tarkoitettu muuttamaan ainoastaan puhalluksen suuntausta, eikä niissä ollut ilmavirran suuruuteen vaikuttuvaa säätömahdollisuutta.

Laitteen kammioon oli myös asennettu rei'itetystä teräslevystä valmistettu tasauslevy. Tasauslevyn oli asennettu poikittain 700 mm korkeuteen laitteen pohjasta mitattuna. Tasauslevy oli poikkipinnaltaan koko kammio-osan levyinen, ja sen vapaan alan osuus levyn kokonaispinta-alasta oli 54 %. Laitteen kokonaiskorkeus oli 920 mm.



**KUVA 21. Laite 2. Vakiona**

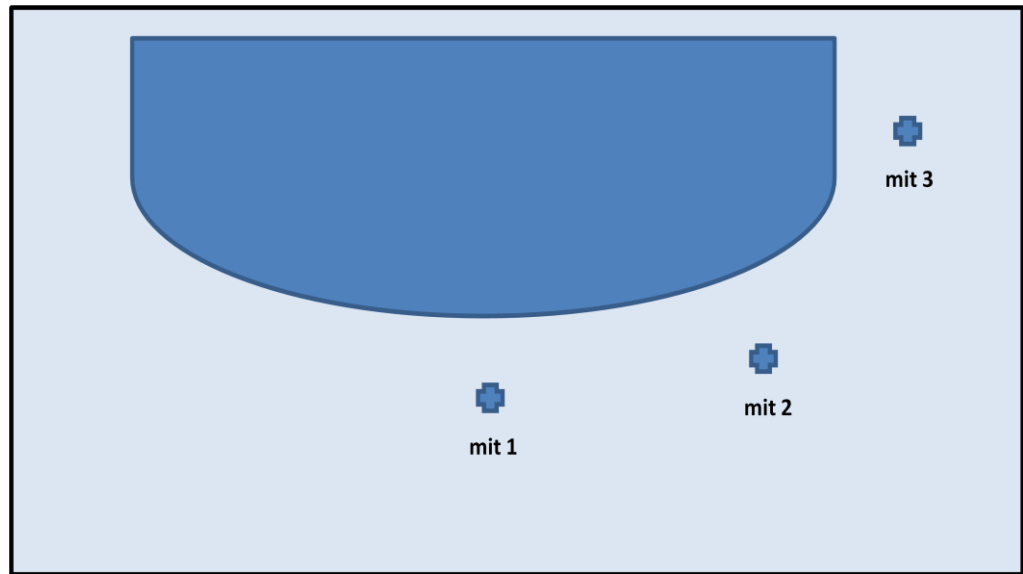


**KUVA 22. Laite 2. Ilman etulevyä**

Laitteen 2 toimintaa tutkittiin nopeusmittauksilla sekä äänimittauksilla. Laitteen tutkinnassa suuttimet oli asetettu vastaamaan tehdasasetuksia. Nopeusmittauksissa laitteen ulospuhallusvirtauksen nopeutta mitattiin kolmesta pisteestä 100 mm etäisyydeltä laitteesta. Nopeusmittauksissa käytettyjen mittauspisteiden asemat tutkittavaan laitteeseen nähden on esitetty kuvassa 23.



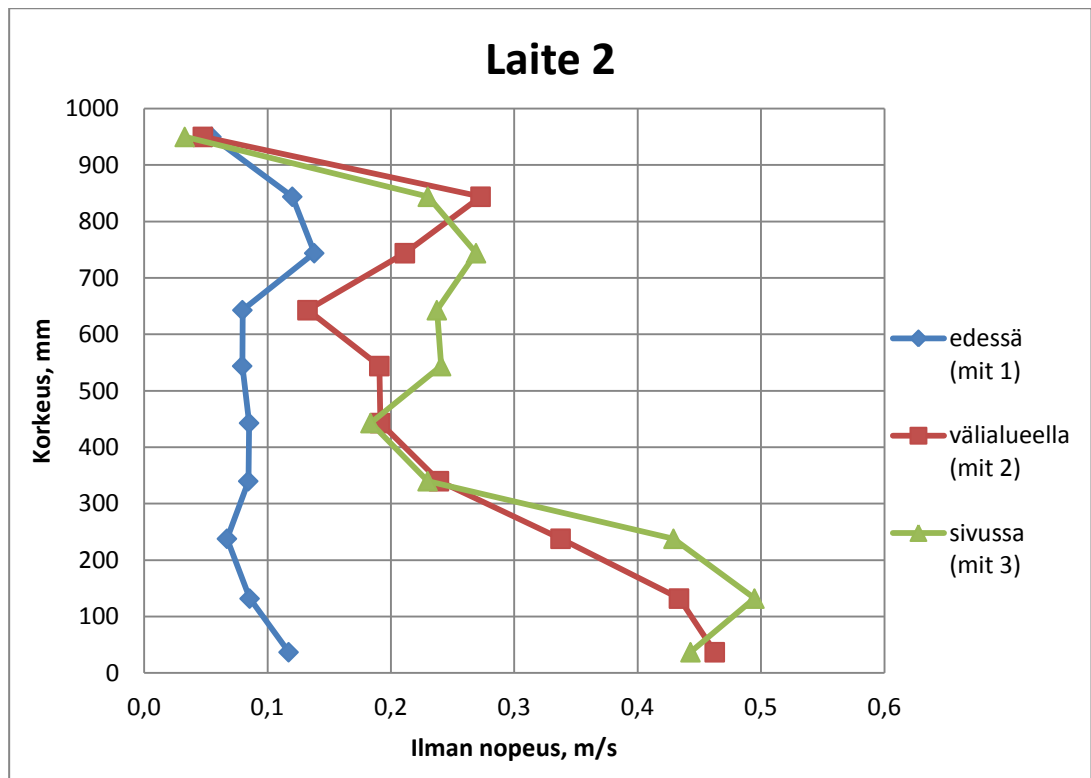
Nopeusmittauksissa laitteelle tulevana ilman tilavuusvirtana käytettiin 150 l/s. Laitteen 2 ääni ja nopeusmittaustulokset on esitetty liitteessä 7.



**KUVA 23. Nopeusmittauksissa käytettyjen mittauspisteiden asemat laitteeseen nähden**

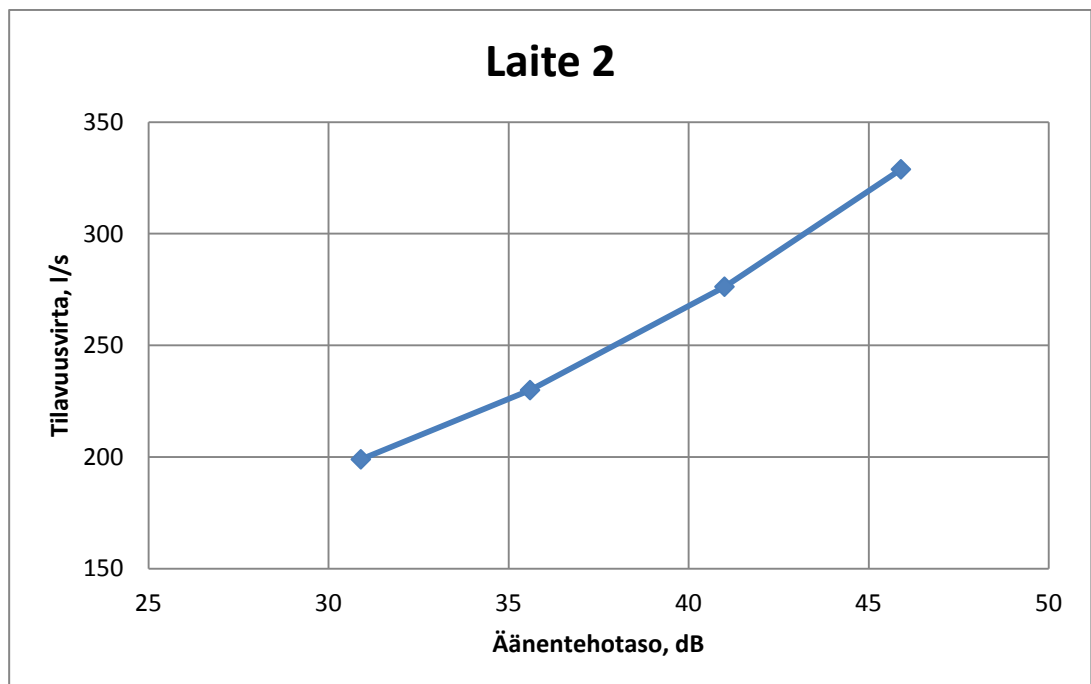
Laitteen 2 nopeusmittaustuloksia tarkasteltaessa havaittiin suurimman osan ilmavirrasta tulevan ulos laitteen sivuilta, jolloin mittauspisteessä 1 havaitut ilman nopeudet jäivät huomattavasti pienemmiksi verrattaessa pisteissä 2 ja 3 mitattuihin ilman nopeuksiin.

Kuvassa 24 on esitetty laitteen 2 nopeusmittauksilla saadut tulokset mittauspisteissä 1, 2 ja 3. Mittauspisteissä 2 ja 3 havaittiin ilman nopeuksien olevan epätasaiset, jolloin laitteen alaosasta purkautuvan ilmasuihkun nopeus oli lähes kaksinkertainen verrattaessa sitä laitteen yläosalla tapahtuvaan virtausnopeuteen. Mittauspisteessä 1 havaitut ilman nopeudet olivat hyvin lähellä toisiaan, jolloin kyseisen mittauspisteen kohdalla ulospuhallettava ilmasuihku jakautuu pystysuunnassa koko etulevyn alueelle.



**KUVA 24.** Laitteen 2 ulospuhalluksen aiheuttama ilman nopeus eri mittauspisteissä, tilavuusvirralla 150 l/s

Äänimittaustulosten perusteella laaditussa kuvassa 25 on esitetty tilavuusvirran vaikutus äänentehotasoon laitteessa 2.



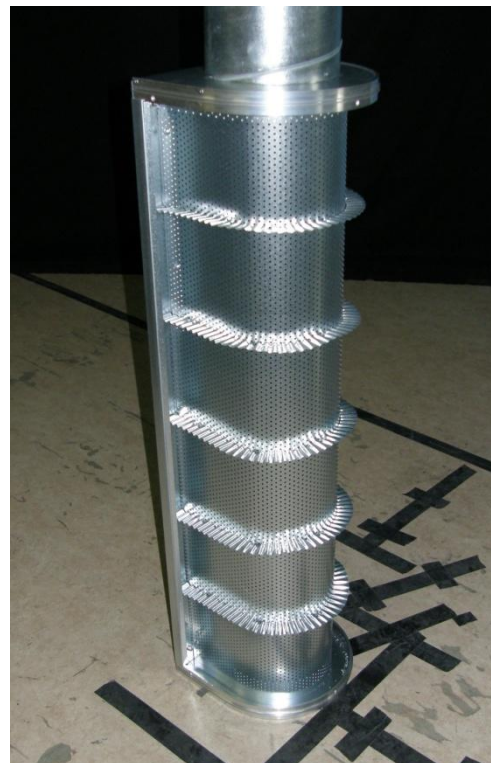
**KUVA 25.** Tilavuusvirta äänentehotason funktiona laitteessa 2

### 5.5 Laite 3

Laitteen 3 (kuva 26) rakenne koostui kahdesta reikälevykerroksesta, joiden välissä oli 5 poikittain asennettua ohjaus-sälettä (kuva 27). Reikälevyjen vapaan virtausalan osuus etulevyn kokonaispinta-alasta oli 10 %, jolloin etulevyn vapaan virtauksen pinta-ala oli  $0,08 \text{ m}^2$ . Laitteen kokonaiskorkeus oli 1200 mm.



**KUVA 26. Laite 3. Vakiona**



**KUVA 27. Laite 3. Ilman etulevyä**

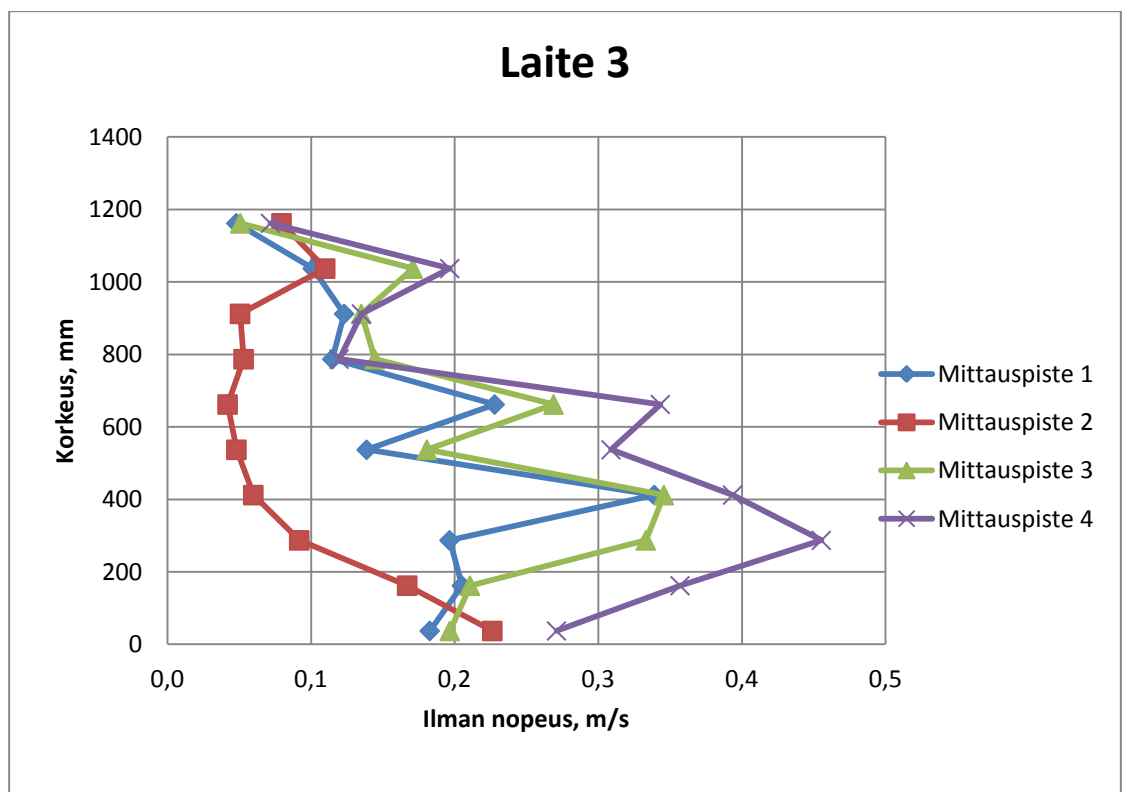
Laite 3 on yksi opinnäytetyötä teettävän yrityksen tuotekehitysprojektin uudistettavista laitteista. Laitteen 3 toimintaa tutkittiin nopeusmittauksilla, sekä savutestillä. Kyseiselle laitteelle ei suoritettu äänimittauksia tämän tutkimuksen yhteydessä, sillä laitteen äänitekniset ominaisuudet tunnettiin entuudestaan. Suoritettujen mittausten perusteella pyrittiin selvittämään laitteen nykyistä toiminnan tasoa, sekä mahdollisia kehitystarpeita.

Laitteen 3 ulospuhalluksen tasaisuutta tutkittiin nopeusmittauksilla, joissa käytettiin vastaavia mittauspisteitä (kuva 18) kuin laitteen 1 mittauksissa, jolloin laitteiden nopeusmittaustulokset olivat keskenään vertailukelpoisia. Nopeusmittauksissa laitteen tilavuusvirtana käytettiin 150 l/s. Laitteen 3 nopeusmittauksilla saadut tulokset on esitetty liitteessä 8.

Laitteen 3 nopeusmittaustuloksia tarkasteltaessa havaittiin ilman ulospuhallus- nopeuden olevan suurin laitteen alaosalla. Laitteen etuseinämän rakenne ei aiheuta riittävää vastusta ulospuhallusvirtauksen tasaamiseksi, jolloin laitteen pohjaan törmäävä ilmavirta pyrkii ulos laitteen alaosasta jättäen yläosan virtauksen suhteessa pienemmäksi.

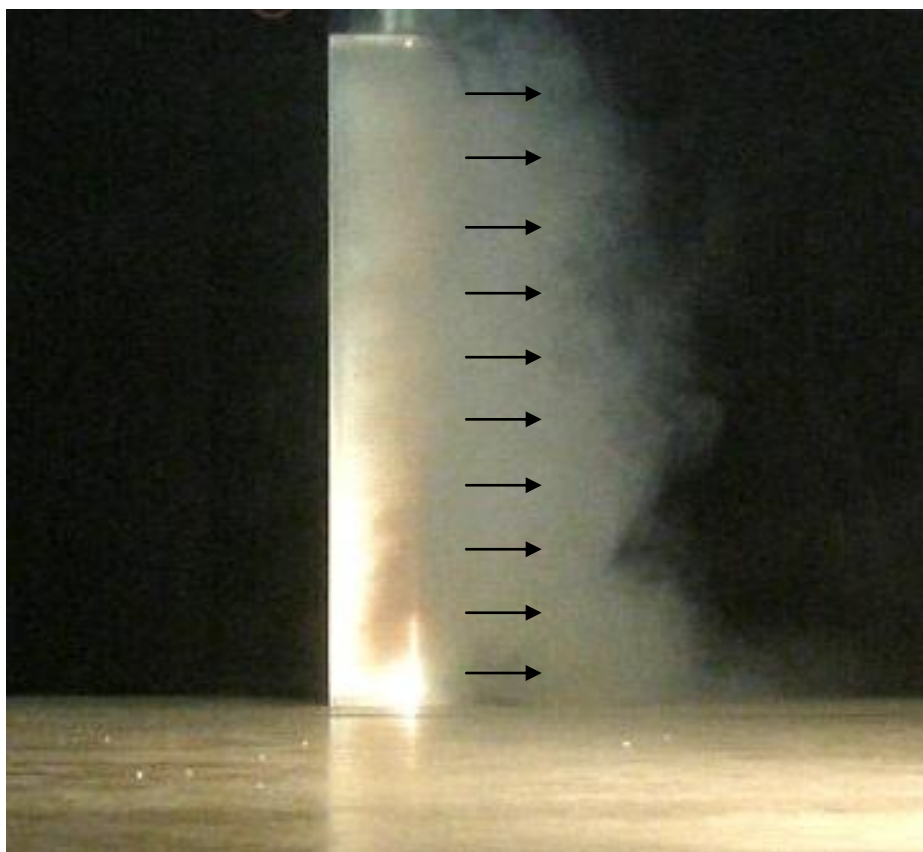
Mittaustuloksissa havaittavat epätasaiset nopeuden muutokset voidaan olettaa johtuvan reikälevyjen välissä olevista ohjaus-säleistä. Liitäntäkanavasta laitteen sisään puhallettava ilmavirta törmää osittain reikälevy rakenteen välissä oleviin ohjaus-säleisiin, jolloin ilmasuihku kääntyy säleiden vaikutuksesta kohtisuoraan sivulle ja saa aikaan mittauksilla havaitut epätasaisuudet.

Kuvassa 28 on esitetty laitteen 3 nopeusmittaustulokset mittauspisteissä 1-4 tilavuusvirran ollessa 150 l/s.



**KUVA 28. Laitteen 3 ulospuhalluksen nopeus eri mittauspisteissä, tilavuusvirral- la 150 l/s**

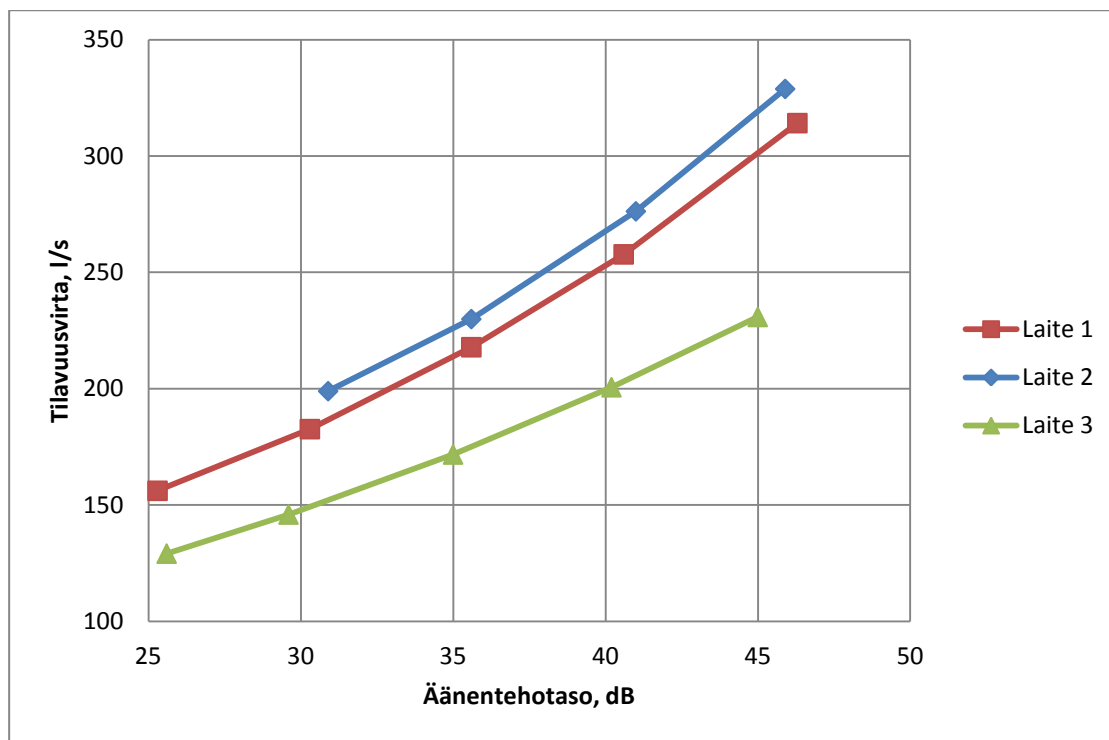
Savulla testattaessa ei yksittäisiä virtauspiikkejä ollut havaittavissa, vaan ilma näytti tulevan tasaisesti koko etulevyn alueelta. Laitteen ulospuhallusvirtauksen suunta oli ideaalitilanteen mukaisesti isotermistä ilmaa käytettäessä kohtisuoraan, sivulle laitteesta poispäin. Kuvasta 29 on nähtävissä savutestissä todettu laitteen 3 aiheuttama ulospuhallus.



**KUVA 29. Laitteen 3 testaus savulla**

Laitteen 3 äänimittaustulosten perusteella havaittiin kyseisen laitteen olevan ääniteknisesti huonompi verrattaessa sitä laitteisiin 1 ja 2. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että samalla äänentehotasolla laitteista 1 ja 2 ulospuhallettava ilman tilavuusvirta on huomattavasti suurempi kuin laitteessa 3. Toisin sanoen saman ilmamäärän ulospuhaltaminen laitteissa 1 ja 2 toteutuu pienemmällä äänentehotasolla. Tutkituista laitteista ääniteknisesti paras oli laite 1, jonka ulospuhallettava ilmamäärä äänenpainetasolla 35 dB oli 227 l/s, samaa äänenpainetasoa vastaava ilmamäärä laitteessa 2 oli 214 l/s, ja laitteessa 3 ilmamäärä oli 173 l/s.

Kuvassa 30 on esitetty äänentehotason riippuvuus laitteen läpi kulkevasta ilman tilavuusvirrasta laitteissa 1, 2 ja 3.



**KUVA 30. Tilavuusvirta äämentehotason funktiona laitteissa 1, 2 ja 3**

## 6 YHTEENVETO

Piennopeuslaitteissa ja niiden kehittämisessä havaittu yleisin ongelma muodostuu ulospuhallussuihkun epätasaisuudesta. Ulospuhallussuihkun epätasaisuus aiheutuu, kun kytkentäkanavasta laitteen sisään johdettava tuloilma törmää kytkentäkanavan vastakkaiseen seinämään, jolloin törmäyskohtaan muodostuu laitteen muita osia suurempi staattisen paineen alue. Tässä tapauksessa laitteen ulospuhalluksen virtausnopeus kasvaa staattisen paineen kasvaessa.

Laitteen sisäistä painejakaumaa voidaan tasoittaa käyttämällä yhtä tai useampaa reikälevystä tai verkosta valmistettua, poikittain asennettua tasauslevyä laitteen sisällä, jolloin liitäntäkanavasta tuleva voimakas ilmasuihku törmää vastakkaisen seinämän sijasta useampaan tasoon ja laitteen sisälle muodostuva maksimipaineen arvo alenee. Poikittaisen tasauslevyn vaikutusta sen pinnalle muodostuvan paineen suuruuteen voidaan muuttaa reikälevyn vapaan-alan osuutta muuttamalla. Lisäksi tasauslevyllä havaittiin olevan merkittävä vaikutus laitteen äänitekniisiin ominaisuuksiin. Tasauslevyn ansiosta saadaan samalla äämentehotasolla laitteen läpi tuotua huomattavasti suurempi ilmamäärä kuin laitteesta, jossa ei tasauslevyä vastaavaa osaa ole.

Laitteen tasaisen ulospuhallusvirtauksen saavuttaminen niin, että ilman nopeus etulevyn kaikissa pisteissä olisi sama, on keskeinen asia piennopeuslaitteen toiminnan kannalta. Jotta laitteesta ulospuhallettava ilma saadaan tulemaan tasaisesti koko etulevyn alueelta, on ilmaa jakavan seinämän rakenteen aiheuttama virtausvastus oltava riittävä. Ulospuhallusseinämän virtausvastusta kasvattamalla kasvaa myös laitteen kammiassa oleva paine. Kun laitteen vaipan aiheuttama paine-ero kasvaa, muuttuu staattisen paineen osuus kokonaispaineesta suuremmaksi, jolloin paine etulevyn takana jakautuu tasaisesti ja ulospuhallettava ilmavirta pyrkii ulos koko etulevyn alueelta. Yksinkertainen reikälevy ei tasaa ulospuhallusvirtausta riittävästi, vaan etuseinämän rakenne vaatii toimiakseen useamman rakennekerroksen, jolloin kerrosten väliin syntyvä tyhjä tila toimii myös painetta tasaavana kammiona.

Tasaisen ulospuhalluksen lisäksi laitteen ulospuhallussuihkun on suuntauduttava kohtisuoraan sivulle laitteesta poispäin, jotta tuloilman jakautuminen oleskeluvyöhykkeelle on tehokasta, eikä ristikkäisistä virtauksista aiheutunut ilman nopeuden kasvu aiheuta veto ongelmia. Laitteen ulospuhalluksen suuntausta voidaan korjata käyttämällä esimerkiksi ohjaus-säleitä, suuttimia tai virtauksen oikaisevaa kennorakennetta. Laitteen ulospuhalluksen epätasainen suuntaus lisää ilman turbulenttisuutta, jolloin huoneessa oleva sekundääri-ilma sekoittuu tuloilmasuihkuun ja syrjäytysvaikutus heikkenee.

## **7 JATKOTOIMENPITEET**

Tässä opinnäytetyössä esitettyjen mittaustulosten sekä havaintojen perusteella voidaan aloittaa varsinaisten uusien piennopeuslaitteiden kehittäminen. Uusien laitteiden kehitysprojektissa tulisi ensimmäisenä kehittää rakenne, joka toimii ääni- sekä virtausteknisesti paremmin kuin kilpailevien laitevalmistajien tuotteet.

Kehitettävän rakenteen tulisi olla muokattavissa mahdollisimman hyvin, jolloin saman rakenteen soveltaminen erimallisiin ja kokoisiin laitteisiin olisi mahdollista teknisten ominaisuuksien siitä kärsimättä. Tulevan rakenteen kehityksessä on kiinnitettävä huomiota myös tuotantoteknisiin seikkoihin, materiaalien käyttöön sekä niistä johtuviin valmistuskustannuksiin. Laitteen toiminnan on myös pysyttävä samanlaisena riippumatta jaettavan ilmavirran määrästä.

## LÄHTEET

1. Halton Oy 2013. Yrityksen WWW-sivut.  
<http://www.halton.fi/halton/fi/cms.nsf/www/about> Päivitetty 15.1.2013. Luettu 15.1.2013.
2. Skistad, Håkon, Mundt, Elisabeth, Nielsen, Peter, Hagström, Kim & Railio, Jorma 2003. Displacement ventilation in non-industrial premises. Brussel: Rehva – Federation of European Heating and Air-conditioning Association.
3. Halton Oy 2013. Displacement ventilation system. WWW-dokumentti.  
[http://www.halton.fi/halton/images.nsf/files/49663CE16DAB10A5C2257244002F0A3B/\\$file/displacement\\_design\\_guide\\_en.pdf](http://www.halton.fi/halton/images.nsf/files/49663CE16DAB10A5C2257244002F0A3B/$file/displacement_design_guide_en.pdf) Päivitetty 15.1.2013. Luettu 15.1.2013.
4. Nielsen, Peter 1993. Displacement ventilation – theory and design. Department of Building technology and Structural Engineering, Aalborg University.
5. Pellinen, Teuvo 1984. Syrjäytysilmanvaihtoon perustuvan sisäänpuhalluseliimen kehittäminen. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.
6. Hakkola, Olli 1990. Syrjäytysilmanvaihdon tekninen toimivuus lämmitystilanteessa ja syrjäytysilmanvaihdon energiatalous muihin ilmalämmitystapoihin verrattuna. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Diplomityö.
7. Seppänen, Olli 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Suomen LVI-liitto.



Prototyyppi 1, nopeusmittauspöytäkirja

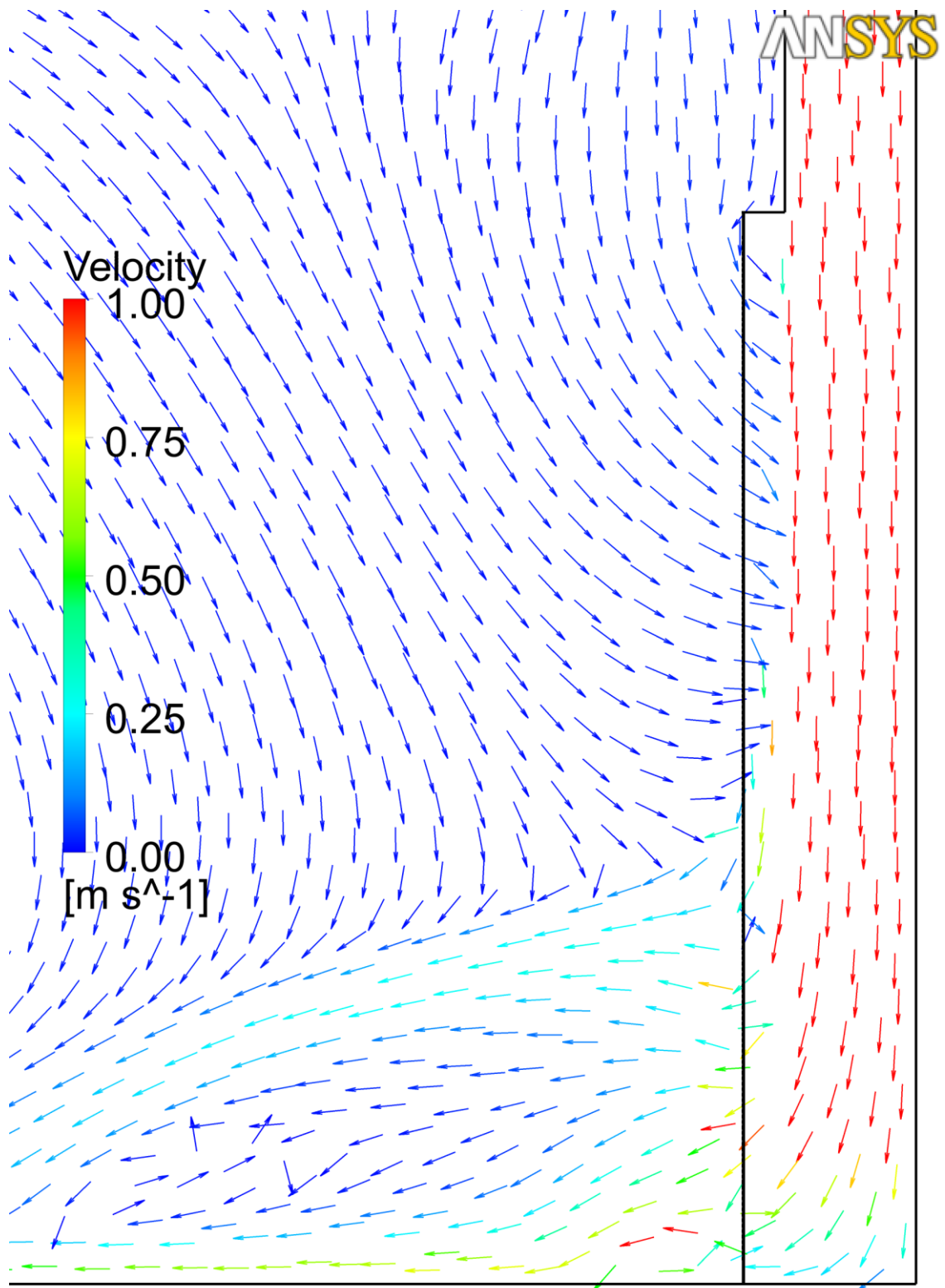
Prototyyppi 1
---------------

Pst [Pa]:	0,76	Pst [Pa]:	0,76	Pst [Pa]:	0,76
thuone [C°]:	18,8	thuone [C°]:	18,8	thuone [C°]:	18,8
ttulo[C°]:	18,5	ttulo[C°]:	18,5	ttulo[C°]:	18,4

Haluttu qv:	140 l/s
-------------	---------

Etäisyys: 35 mm	Etäisyys: 100 mm	Etäisyys: 300 mm
-----------------	------------------	------------------

h	qv	v	qv	v	qv	v
[mm]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]
970	141,22	0,048	141,29	0,051	141,11	0,038
866	141,22	0,057	141,29	0,059	141,11	0,047
763	141,22	0,061	141,29	0,052	141,11	0,048
659	141,22	0,067	141,29	0,062	141,11	0,062
555	141,22	0,071	141,29	0,086	141,11	0,073
452	141,22	0,111	141,29	0,147	141,11	0,113
348	141,22	0,171	141,29	0,308	141,11	0,177
244	141,22	0,259	141,29	0,469	141,11	0,261
141	141,22	0,356	141,29	0,708	141,11	0,363
37	141,22	0,369	141,29	0,459	141,11	0,364



Prototyyppi 2, nopeusmittauspöytäkirja

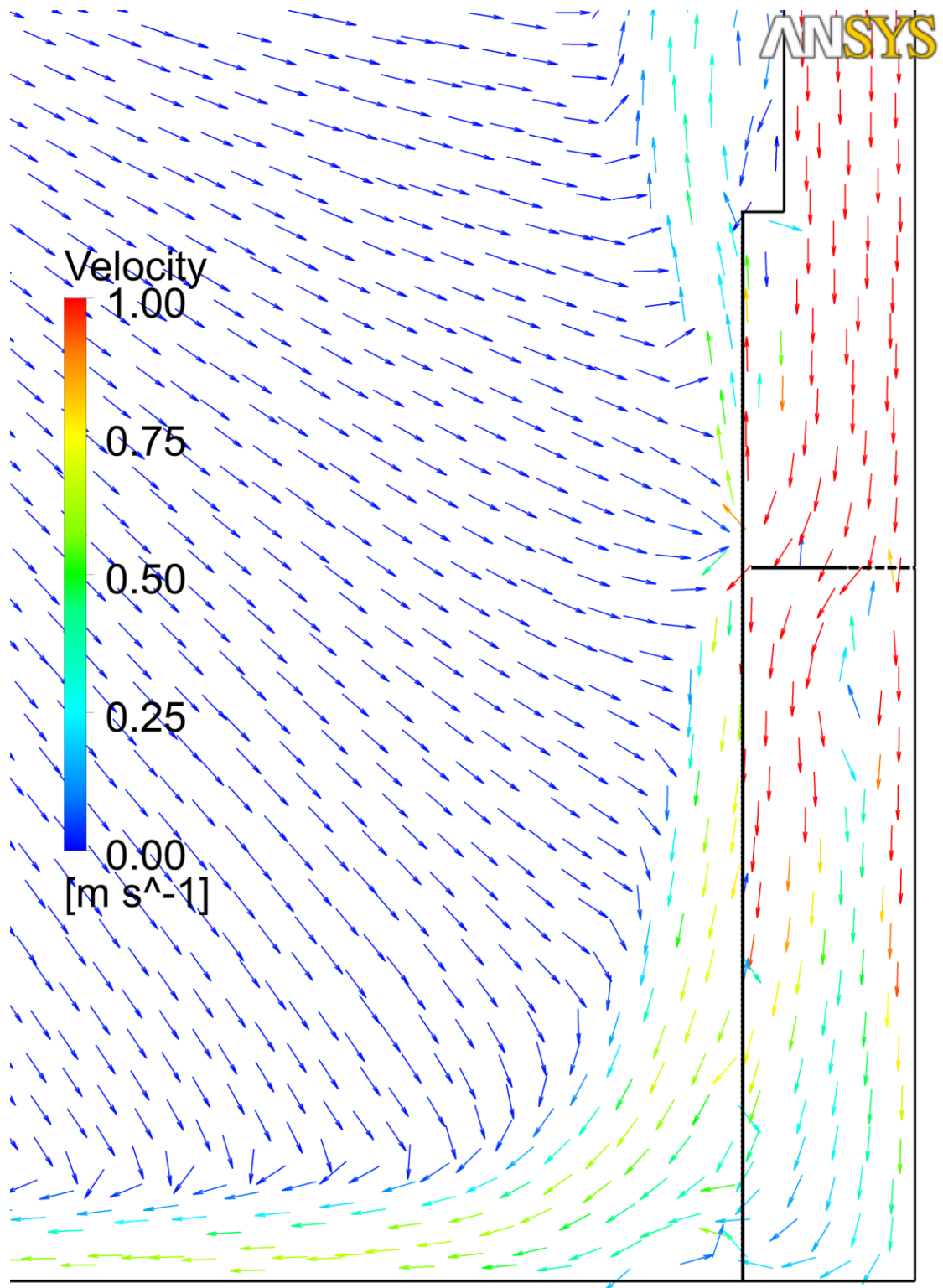
Prototyyppi 2
---------------

Pst [Pa]:	0,76	Pst [Pa]:	0,76	Pst [Pa]:	0,75
thuone [C°]:	18,9	thuone [C°]:	18,8	thuone [C°]:	18,8
ttulo[C°]:	18,5	ttulo[C°]:	18,3	ttulo[C°]:	18,6

Haluttu qv:	140 l/s
-------------	---------

Etäisyys: 35 mm	Etäisyys: 100 mm	Etäisyys: 300 mm
-----------------	------------------	------------------

h	qv	v	qv	v	qv	v
[mm]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]
970	141,1	0,049	141,11	0,037	141,18	0,043
866	141,1	0,052	141,11	0,050	141,18	0,045
763	141,1	0,217	141,11	0,087	141,18	0,037
659	141,1	0,093	141,11	0,379	141,18	0,045
555	141,1	0,173	141,11	0,114	141,18	0,071
452	141,1	0,309	141,11	0,078	141,18	0,114
348	141,1	0,417	141,11	0,164	141,18	0,110
244	141,1	0,370	141,11	0,352	141,18	0,072
141	141,1	0,325	141,11	0,347	141,18	0,215
37	141,1	0,169	141,11	0,171	141,18	0,356



**Laite 1, nopeusmittauspöytäkirja**

Laite 1, vakio

Laite 1, vakio								
Pst [Pa]: 2,63			Pst [Pa]: 2,62		Pst [Pa]: 2,62		Pst [Pa]: 2,63	
thuone[C°]: 19,0			thuone [C°]: 19,0		thuone [C°]: 18,9		thuone [C°]: 19,1	
ttulo[C°]: 18,7			ttulo[C°]: 18,8		ttulo[C°]: 18,8		ttulo[C°]: 18,7	
Haluttu qv: 150 l/s								
mit 1			mit 3		mit 2		mit 4	
h	qv	v	qv	v	qv	v	qv	v
[mm]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]
950	150,22	0,107	150,32	0,140	150,44	0,079	150,29	0,043
844	150,22	0,317	150,32	0,307	150,44	0,229	150,29	0,272
744	150,22	0,313	150,32	0,265	150,44	0,180	150,29	0,253
643	150,22	0,361	150,32	0,385	150,44	0,178	150,29	0,287
544	150,22	0,321	150,32	0,337	150,44	0,182	150,29	0,314
443	150,22	0,321	150,32	0,328	150,44	0,228	150,29	0,314
340	150,22	0,434	150,32	0,410	150,44	0,260	150,29	0,330
238	150,22	0,367	150,32	0,319	150,44	0,302	150,29	0,298
132	150,22	0,527	150,32	0,465	150,44	0,104	150,29	0,185
37	150,22	0,147	150,32	0,225	150,44	0,092	150,29	0,132

Laite 1, ilman tasauslevyä

Pst [Pa]:		2,54	Pst [Pa]:		2,52	Pst [Pa]:		2,46	Pst [Pa]:		2,46
thuone [C°]:		18,6	thuone [C°]:		18,6	thuone [C°]:		18,6	thuone [C°]:		18,6
ttulo[C°]:		18,4	ttulo[C°]:		18,5	ttulo[C°]:		18,4	ttulo[C°]:		18,4
Haluttu qv: 150 l/s											
mit 1			mit 3			mit 2			mit 4		
h	qv	v	qv	v	qv	v	qv	v	qv	v	
[mm]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	
950	150,91	0,182	151,18	0,176	150,75	0,190	151,02	0,208			
844	150,91	0,259	151,18	0,240	150,75	0,188	151,02	0,227			
744	150,91	0,229	151,18	0,246	150,75	0,230	151,02	0,240			
643	150,91	0,229	151,18	0,252	150,75	0,265	151,02	0,265			
544	150,91	0,289	151,18	0,319	150,75	0,281	151,02	0,304			
443	150,91	0,336	151,18	0,380	150,75	0,342	151,02	0,342			
340	150,91	0,406	151,18	0,454	150,75	0,410	151,02	0,428			
238	150,91	0,610	151,18	0,485	150,75	0,315	151,02	0,483			
132	150,91	0,824	151,18	0,696	150,75	0,143	151,02	0,428			
37	150,91	0,232	151,18	0,319	150,75	0,093	151,02	0,220			

## Laite 1, nopeusmittauspöytäkirja

Laite 1, ilman etulevyä

Pst [Pa]: 1,97 Pst [Pa]: 2,01 Pst [Pa]: 2 Pst [Pa]: 1,98								
thuone [C°]: 18,71 thuone [C°]: 18,66 thuone [C°]: 18,71 thuone [C°]: 18,67								
ttulo[C°]: 18,48 ttulo[C°]: 18,55 ttulo[C°]: 18,53 ttulo[C°]: 18,31								
Haluttu qv: 150 l/s								
mit 1			mit 3		mit 2		mit 4	
h	qv	v	qv	v	qv	v	qv	v
[mm]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]
950	151,39	0,125	151,28	0,121	151,52	0,065	151,09	0,045
844	151,39	0,149	151,28	0,118	151,52	0,076	151,09	0,051
744	151,39	0,136	151,28	0,114	151,52	0,074	151,09	0,055
643	151,39	0,296	151,28	0,369	151,52	0,076	151,09	0,141
544	151,39	0,374	151,28	0,437	151,52	0,064	151,09	0,316
443	151,39	0,626	151,28	0,597	151,52	0,072	151,09	0,496
340	151,39	0,940	151,28	0,820	151,52	0,152	151,09	0,575
238	151,39	0,949	151,28	0,652	151,52	0,433	151,09	0,572
132	151,39	0,627	151,28	0,589	151,52	0,573	151,09	0,553
37	151,39	0,257	151,28	0,452	151,52	0,191	151,09	0,481

## Laite 1, Äänimittauspöytäkirja

Mittauspvm / mittaja:		5.3.2013 Kpa			Tuote: Laite 1			
Mittauksen ID-numerot:		4725-4729						
		Laipantiedot			Vakio			
		koko	paine-ero [Pa]	til.virta [dm <sup>3</sup> /s]				
		165/120	224,0	156,2	4,5	19,3	25,3	
		165/120	308,0	182,7	6,0	26,3	30,3	
		165/120	439,0	217,9	8,1	37,0	35,6	
		165/120	616,0	257,8	10,4	50,7	40,6	
		165/120	920,0	314,2	14,0	73,9	46,3	

Mittauspvm / mittaja:		5.3.2013 Kpa			Tuote: Laite 1			
Mittauksen ID-numerot:		4720-4724						
		Laipantiedot						
		koko	paine-ero [Pa]	til.virta [dm <sup>3</sup> /s]	st. paineh. [Pa]	kok.paineh. [Pa]	äänen tehot. [dB(A)]	
		165/120	132,0	120,5	2,6	11,4	25,3	
		165/120	176,0	139,1	2,4	14,2	29,8	
		165/120	250,0	165,6	4,0	20,7	35,7	
		165/120	334,0	190,7	5,7	27,8	40,4	
		165/120	460,0	223,4	9,4	39,7	45,4	

Mittauspvm / mittaja:		5.3.2013 Kpa			Tuote: Laite 1			
Mittauksen ID-numerot:		4710-4714						
		Laipantiedot			ilman etulevyä			
		koko	paine-ero [Pa]	til.virta [dm <sup>3</sup> /s]	st. paineh. [Pa]	kok.paineh. [Pa]	äänen tehot. [dB(A)]	
		165/120	220,0	154,3	4,4	18,9	24,6	
		165/120	315,0	184,8	6,2	27,0	30,0	
		165/120	462,0	222,9	7,5	37,8	35,8	
		165/120	656,0	265,6	9,5	52,4	40,9	
		165/120	900,0	310,3	12,4	70,9	45,4	

Mittauspvm / mittaja:		5.3.2013 Kpa			Tuote: Laite 1			
Mittauksen ID-numerot:		4715-4719						
		Laipantiedot						
		koko	paine-ero [Pa]	til.virta [dm <sup>3</sup> /s]	st. paineh. [Pa]	kok.paineh. [Pa]	äänen tehot. [dB(A)]	
		165/120	216,0	153,7	4,2	18,5	25,4	
		165/120	300,0	180,4	6,1	25,9	30,2	
		165/120	422,0	213,2	6,7	34,4	35,5	
		165/120	595,0	253,8	9,3	48,4	40,6	
		165/120	860,0	304,1	12,7	68,8	46,0	

**LIITE 7.**
**Laite 2, Ääni- ja nopeusmittauspöytäkirjat**

Laite 2
---------

Pst [Pa]:	0,12	Pst [Pa]:	0,12	Pst [Pa]:	0,13
thuone [C°]:	18,7	thuone [C°]:	18,7	thuone [C°]:	18,7
ttulo[C°]:	18,1	ttulo[C°]:	18,5	ttulo[C°]:	18,6

Haluttu qv:	150 l/s				
mit 1			mit 2		
mit 3			mit 2		

h	qv	v	qv	v	qv	v
[mm]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]
950	150,97	0,055	150,63	0,048	150,74	0,033
844	150,97	0,120	150,63	0,273	150,74	0,230
744	150,97	0,138	150,63	0,211	150,74	0,269
643	150,97	0,080	150,63	0,133	150,74	0,237
544	150,97	0,080	150,63	0,191	150,74	0,241
443	150,97	0,085	150,63	0,191	150,74	0,184
340	150,97	0,084	150,63	0,239	150,74	0,230
238	150,97	0,067	150,63	0,338	150,74	0,429
132	150,97	0,086	150,63	0,434	150,74	0,495
37	150,97	0,117	150,63	0,463	150,74	0,443

Mittauspvm / mittaaja: Mittauksen ID- numerot:		31.10.-12 KPa			Tuote: Laite 2			
		3892-3895						
		Laipan tiedot						
		koko	paine-ero	til.virta	st. pai- neh.	kok.paineh.	äänen tehot.	
			[Pa]	[l/s]	[Pa]	[Pa]	[dB(A)]	
		400/200	58,0	199,0	3,4	27,0	30,9	
		400/200	78,0	230,0	4,0	35,5	35,6	
		400/200	115,0	276,3	4,9	50,2	41,0	
		400/200	164,0	328,9	6,5	70,8	45,9	



**LIITE 8.**
**Laite 3, Ääni- ja nopeusmittauspöytäkirjat**

Laite 3								
Pst [Pa]: 2,78			Pst [Pa]: 2,88		Pst [Pa]: 2,82		Pst [Pa]: 2,82	
thuone [C°]: 18,8			thuone [C°]: 18,8		thuone [C°]: 18,7		thuone [C°]: 18,7	
ttulo[C°]: 18,5			ttulo[C°]: 18,5		ttulo[C°]: 18,6		ttulo[C°]: 18,6	
Haluttu qv: 150 l/s								
mit 1			mit 3		mit 2		mit 4	
h	qv	v	qv	v	qv	v	qv	v
[mm]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]	[l/s]	[m/s]
1162	150,41	0,048	150,4	0,051	150,41	0,080	149,84	0,072
1037	150,41	0,101	150,4	0,171	150,41	0,110	149,84	0,197
912	150,41	0,123	150,4	0,135	150,41	0,051	149,84	0,135
787	150,41	0,115	150,4	0,145	150,41	0,053	149,84	0,120
662	150,41	0,228	150,4	0,269	150,41	0,042	149,84	0,343
537	150,41	0,139	150,4	0,181	150,41	0,048	149,84	0,309
412	150,41	0,339	150,4	0,346	150,41	0,060	149,84	0,394
287	150,41	0,197	150,4	0,333	150,41	0,092	149,84	0,455
162	150,41	0,205	150,4	0,211	150,41	0,167	149,84	0,357
37	150,41	0,183	150,4	0,197	150,41	0,226	149,84	0,271

<b>Mittauspvm / mittaja:</b>		4.4.2013 Kpa			<b>Tuote:</b> Laite 3			
<b>Mittauksen ID-numerot:</b>								
		<b>Laipan tiedot</b>						
		koko	paine-ero [Pa]	til.virta [dm <sup>3</sup> /s]	st. paineh. [Pa]	kok.paineh. [Pa]	äänen tehot. [dB(A)]	
		165/120	153,0	129,2	5,2	15,3	25,6	
		165/120	195,0	146,0	5,3	18,3	29,6	
		165/120	271,0	171,8	6,0	23,9	35,0	
		165/120	370,0	200,7	9,7	34,1	40,2	
		165/120	497,0	230,9	14,3	46,7	45,0	